

#2 Smith. 3/18/02

520.41222X00



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): HOSHIYA, et al.  
Serial No.: Not yet assigned  
Filed: February 20, 2002  
Title: SPIN-VALVE HEAD CONTAINING CLOSED-FLUX-STRUCTURE  
DOMAIN CONTROL FILMS  
Group: Not yet assigned

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of  
Patents and Trademarks  
Washington, D.C. 20231

February 20, 2002

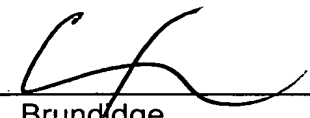
Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on Japanese Patent Application No.(s) 2001-177925, filed June 13, 2001.

A certified copy of said Japanese Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

  
\_\_\_\_\_  
Carl I. Brundage  
Registration No. 29,621

CIB/alb  
Attachment  
(703) 312-6600

NT054845

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 6月13日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-177925

出 願 人

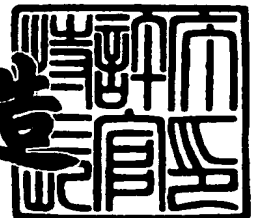
Applicant(s):

株式会社日立製作所

2001年12月21日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3110118

【書類名】 特許願

【整理番号】 H01001841A

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G11B 5/39

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 星屋 裕之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 幡谷 昌彦

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 木村 久志

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 井手 浩

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100075096

【弁理士】

【氏名又は名称】 作田 康夫

【電話番号】 03-3212-1111

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013088

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】明細書

【発明の名称】スピバルブ型磁気ヘッド

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

感知すべき外部磁界に対して実質的にその磁化方向が固定された強磁性層と感知すべき外部磁界に応じてその磁化が回転できる軟磁性層とが非磁性中間層を介して積層されたスピバルブ型磁気抵抗効果素子を有し、

感知すべき外部磁界に応じて前記軟磁性層の磁化が回転し、前記軟磁性層の磁化方向と上記強磁性層の磁化方向との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じる磁気ヘッドにおいて、

前記軟磁性層上に非磁性分離層を介して単磁区化強磁性層が形成され、

前記軟磁性層と前記単磁区化強磁性層とが

化と前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じ、

前記軟磁性自由層上に非磁性分離層を介して単磁区化強磁性層が形成され、

前記非磁性分離層を介して前記軟磁性自由層と前記単磁区化強磁性層とがトラック幅端部で静磁氣的に結合して閉磁路を形成することで

前記単磁区化強磁性層は感知すべき磁界に対して略直行した方向に実質的に固定された磁化を有するように前記軟磁性自由層を単磁区化することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項 2】

強磁性固定層と非磁性中間層と軟磁性自由層と非磁性分離層と単磁区化強磁性とがこの順に積層され所定の感磁幅に対応したほぼ同一のトラック幅に形成されたスピバルブ型磁気抵抗効果素子を有し、

前記非磁性分離層を介して前記軟磁性自由層と前記単磁区化強磁性層とが面内で実質的に強磁性的または反強磁性的な結合を有さず、トラック幅端部で前記単磁区化強磁性層の磁化と軟磁性自由層の磁化とが静磁氣的に結合して閉磁路を形成しており、

前記軟磁性自由層は感知すべき磁界に対して略直行した方向に実質的に固定された磁化を有して単磁区化され、

前記強磁性固定層が感知すべき磁界に対して実質的にその磁化方向が固定され、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記軟磁性自由層の磁化と前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果素子に磁気抵抗変化が生じ、一对の電極により磁気抵抗変化を検出することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項 3】

前記強磁性固定層と、反強磁性膜あるいは硬磁性層膜とが積層されて交換結合することにより、前記強磁性固定層へバイアス磁界が印加され感知すべき磁界に対して略直行した方向に着磁されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 記載の磁気ヘッド。

【請求項 4】

前記単磁区化強磁性層は硬磁性膜からなり、前記硬磁性膜が感知すべき磁界に対して略直行した方向に着磁されてなることを特徴とする請求項 1 乃至 3 記載の磁気ヘッド。

【請求項 5】

前記単磁区化強磁性層は硬磁性膜と軟磁性緩衝層との間に結合膜を介して強磁性的もしくは反強磁性的な結合を有する積層膜からなり、前記硬磁性膜の磁化および前記軟磁性緩衝層の磁化が感知すべき磁界に対して略直行した方向に着磁されてなることを特徴とする請求項 1 乃至 3 記載の磁気ヘッド。

【請求項 6】

前記単磁区化強磁性層は、Fe, Co, Ni または Mn を含む酸化物からなる硬磁性膜を有することを特徴とする請求項 1 乃至 6 記載の磁気ヘッド。

【請求項 7】

前記単磁区化強磁性層は、酸化物と強磁性金属との混合体からなる硬磁性膜を有することを特徴とする請求項 1 乃至 6 記載の磁気ヘッド。

【請求項 8】

前記単磁区化強磁性層は、半導体と強磁性金属との混合体からなる硬磁性膜を有することを特徴とする請求項 1 乃至 6 記載の磁気ヘッド。

【請求項 9】

前記非磁性分離層が、Ta、Hf、Nb、Ti、Wおよびこれらの酸化物からなることを特徴とする請求項1乃至9記載の磁気ヘッド。

【請求項10】

上記非磁性分離層が、Cu、Au、Ag、Pt、Re、Ru、Ir、Os、Ta、Hf、Nb、Ti、Wの少なくとも一つを含む層あるいはこれらを含む層の積層体と酸化物からなる層との積層体、またはCu、Au、Ag、Pt、Re、Ru、Ir、Os、Ta、Hf、Nb、Ti、Wの少なくとも一つと酸化物とを有する混合体からなることを特徴とする請求項1乃至9記載の磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気記録再生装置および磁気抵抗効果素子に関し、特に、高記録密度磁気記録再生装置と、その製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

米国特許USP5408377には反強磁性的に結合した自由層を用いたスピバルブ型磁気抵抗素子の記載がある。

特開平7-73416には軟質能動層にイクスチェンジ層を隣接したMR型読み出しトランスデューサーの記載がある。

特開平7-169026には反強磁性的結合膜を用いたスピバルブセンサの記載がある。

特開平10-173252には高電気抵抗磁性層を積層した磁気抵抗センサの記載がある。

特開平10-284768にはフリー強磁性層に隣接した補助磁化反転層を有する磁気抵抗効果素子の記載がある。

特開平11-259824には硬磁性膜を自由層に積層したトンネル型磁気抵抗効果ヘッドの記載がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 従来の技術では、記録密度の十分に高い

磁気記録装置、特にその再生部に外部磁界に対して十分な感度と出力で作用する磁気抵抗効果型磁気ヘッドを実現し、さらに十分に対称性の良い良好な特性を得ることが出来ず、記憶装置としての機能を実現することが困難であった。

近年、強磁性金属層を、非磁性金属層を介して積層した多層膜の磁気抵抗効果、いわゆる巨大磁気抵抗、が大きいことが知られている。この場合、磁気抵抗効果は、非磁性導電層で隔てられた強磁性層の、磁化と磁化のなす角度によって電気抵抗が変化する。この巨大磁気抵抗効果を磁気抵抗効果素子として用いる場合には、スピバルブとよばれる構造が提唱されている。即ち、反強磁性膜／強磁性層／非磁性導電層／軟磁性自由層の構造を有し、反強磁性膜／強磁性層界面に発生する交換結合磁界によって反強磁性膜と密着した強磁性層の磁化を実質的に固定し、他方の軟磁性自由層が外部磁界によって磁化回転することで出力を得ることができる。上記固定の効果を固定バイアス、この効果を生じる反強磁性膜を固定バイアス膜とよぶことにする。また、上記磁化が実質的に固定される強磁性層を固定層、もしくは強磁性固定層と呼ぶことにする。同様に外部磁場によって磁化回転する軟磁性膜を自由層もしくは軟磁性自由層と呼ぶことにする。固定層は、感知すべき磁界に対して、実質的に磁化が固定されていることがその機能であり、反強磁性膜の代わりに硬磁性膜、すなわち比較的大きな磁界が加わらない限り磁化が変化しない材料で代換することもできる。最近、スペキュラー効果やあるいはSynthetic ferrimagnetと呼ばれるような強磁性固定層を多層構造にする構造も提唱されているが、非磁性中間層に直接接合する界面の強磁性層の磁化が実質的に固定されている点ではすべて同様である。

磁気抵抗効果型磁気ヘッドには上記軟磁性自由層を単磁区化するための磁区制御構造を有する。上記軟磁性自由層を単磁区状態にし、感知すべき磁界に対してヒステリシスのない出力を持たせる機能を有する。代表的な磁区制御構造であるハードバイアスと呼ばれる構成は以下の構成を有する。感知領域の幅、すなわちトラック幅に形成した磁気抵抗効果膜の両端部に硬磁性膜を所定の厚さで配置する。硬磁性膜の磁化は着磁工程によってトラック幅方向に残留磁化を有するように設定され、上記残留磁化によってトラック幅方向の端部に発生する磁荷が上記軟磁性自由層の端部に発生する磁荷と打ち消しあうことによって静磁エネルギーを



下げ、上記軟磁性自由層を単磁区化するのである。上記ハードバイアス構造による単磁区化において課題となるのは、磁気抵抗効果素子のトラック幅が狭くなったとき、具体的には0.2乃至は0.1ミクロン以下になった時に硬磁性膜の単磁区化効果が過剰に強くなり、感知すべき磁界に対する軟磁性自由層の磁化過程を阻害するのである。このような感度の低下を防止するには硬磁性膜の磁化の量、すなわち残留磁化量を極力低くせしめることが重要だが、このような磁化量の低減には軟磁性自由層の単磁区化の効果を低下せしめて素子の変動が発生する恐れが高くなる。従来、このような高感度と安定性の競合は安定性の得られる最低限の磁化量を採用することで対応されたわけであるが、トラック幅が狭小になるために安定性の得られるときの感度が十分でなくなるという現象が生じるのである。

上記のような安定性と高感度の両立を達成するために、硬磁性膜などの磁荷を磁気抵抗効果積層膜のトラック幅の単部の正確な位置に最低限の量を配置する必要がある。しかしながら、従来型の磁区制御構造では、近年の狭小なトラック幅の磁気ヘッドに対してこれを実現することができなかった。

そこで本発明の目的は高密度記録に対応した長期信頼性の高い磁気記録装置もしくは磁気センサーを用いた磁気ヘッドを提供することにある、より具体的には、軟磁性自由層の端部の磁荷を打ち消す端磁区化磁性膜を磁気抵抗効果膜に積層形成し、トラック幅をおよそ同一形状に形成することで安定で高感度のスピバルブ型磁気抵抗効果素子を用いた再生出力の高いスピバルブ型磁気ヘッドを提供し、さらにこれを用いた磁気記録再生装置を提供することにある。

#### 【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明では高記録密度に対応した巨大磁気抵抗効果を用いた磁気センサーを磁気ヘッドに搭載した磁気記録装置を提供するために、上記磁気センサーとして用いるスピバルブ型の巨大磁気抵抗効果積層膜、すなわち、軟磁性自由層／非磁性導電層／強磁性固定層／反強磁性膜の積層構造を有する磁気抵抗効果素子を用いる。ここで反強磁性膜は強磁性固定層の磁化を実質的に固定するための交換結合バイアスを印加するものであって、直接強磁性固定層に密着して形成するか、あるいは間接的に磁氣的結合を経て効果をもたらしてもよい。あるいは反強磁性膜の代わりに他のバイアス印加手段、例えば

、硬磁性膜の残留磁化を用いたり、電流バイアスを用いてもよい。本発明では課題を解決して高記録密度に対応した磁気センサ、磁気ヘッドを搭載した磁気記録再生装置を得るために、上記軟磁性自由層に積層して、非磁性分離層を介し、単磁区化強磁性層を形成する。非磁性分離層は単磁区化強磁性層と軟磁性自由層の間に磁氣的な結合がないように分離する機能を有する。つまり、強磁性固定層と非磁性中間層と軟磁性自由層と非磁性分離層と単磁区化強磁性層とがこの順に積層され所定の感磁幅に対応したほぼ同一のトラック幅に形成されたスピバルブ型磁気抵抗効果素子を有し、前記非磁性分離層を介して前記軟磁性自由層と前記単磁区化強磁性層とが面内で実質的に強磁性的または反強磁性的な結合を有さず、トラック幅端部で前記単磁区化強磁性層の磁化と軟磁性自由層の磁化とが静磁氣的に結合して閉磁路を形成しており、前記軟磁性自由層は感知すべき磁界に対して略直行した方向に実質的に固定された磁化を有して単磁区化され、前記強磁性固定層が感知すべき磁界に対して実質的にその磁化方向が固定され、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記軟磁性自由層の磁化と前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果素子に磁気抵抗変化が生じ、一対の電極により磁気抵抗変化を検出することを特徴とする磁気ヘッドとする。あるいは、前記素子積層構成が所定の感磁幅に対応したほぼ同一のトラック幅に形成されていて、上記トラック幅の方向に並列して配置した硬磁性膜などの磁区制御構造を持たず、前記トラック幅端部で上記単磁区化強磁性層の磁化と軟磁性自由層の磁化が静磁氣的に結合して閉磁路を形成してなる構成とする。

また、感知すべき外部磁界に対して実質的にその磁化方向が固定された強磁性層と感知すべき外部磁界に応じてその磁化が回転できる軟磁性層とが非磁性中間層を介して積層されたスピバルブ型磁気抵抗効果素子を有し、感知すべき外部磁界に応じて前記軟磁性層の磁化が回転し、前記軟磁性層の磁化方向と上記強磁性層の磁化方向との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じる磁気ヘッドにおいて、前記軟磁性層上に非磁性分離層を介して単磁区化強磁性層が形成され、前記軟磁性層と前記単磁区化強磁性層とがトラック幅端部で静磁氣的に結合して閉磁路を形成して前記軟磁性層が感知すべき磁界に対して略直交した方向に実質的に固定された磁化を有することを特徴とする磁気ヘッドとする。

また、強磁性固定層と軟磁性自由層とが非磁性中間層を介して積層されたスピナルバルブ型磁気抵抗効果素子を有し、外部の磁界に応じて前記軟磁性自由層の磁化が回転し、前記軟磁性自由層の磁化と前記強磁性固定層の磁化との相対角度が変わって磁気抵抗効果を生じ、前記軟磁性自由層上に非磁性分離層を介して単磁区化強磁性層が形成され、前記非磁性分離層を介して前記軟磁性自由層と前記単磁区化強磁性層とがトラック幅端部で静磁氣的に結合して閉磁路を形成することで前記単磁区化強磁性層は感知すべき磁界に対して略直行した方向に実質的に固定された磁化を有するように前記軟磁性自由層を単磁区化することを特徴とする磁気ヘッドとする。

ここで、単磁区化強磁性層、非磁性分離層及び軟磁性自由層はほぼ同一のトラック幅に加工形成されてほぼ同一位置の単部を有し、単磁区化強磁性層はトラック幅方向に残留磁化を有し続けることでトラック幅方向の端部で軟磁性自由層の端部の磁荷を打ち消して単磁区化する効果を有する。単磁区化強磁性層は軟磁性自由層とおよそ同一の磁化量を有するか、単磁区化強磁性層と軟磁性自由層とが非磁性分離層によって分離していて損失する分を補うために軟磁性自由層の磁化量より大きく設定する。上記のような単磁区化構成によって、他の磁区制御構造、例えば磁気抵抗効果膜のトラック幅方向の側端部に硬磁性膜を配置するような構造がなくとも単磁区化の効果を得ることができる。

単磁区化強磁性層は所定の大きさの磁荷をトラック幅方向に発生せしめるために強磁性体を含む構成とする。磁荷の発生方法としては、反強磁性膜を用いることができる。すなわち、反強磁性膜/強磁性膜の構成として、強磁性膜に反強磁性膜から交換結合磁界を発生せしめ、この交換結合磁界の方向をトラック幅方向とすることで達成できる。あるいは、単磁区化強磁性層を硬磁性膜を用いて構成することもできる。硬磁性膜をトラック幅方向に着磁し、残留磁化によって単磁区化効果を得る。この場合、硬磁性膜の磁化の分散が軟磁性自由層に転写されて保磁力を増大させる恐れがある。保磁力の増大を防ぐために単磁区化強磁性層を硬磁性膜/結合層/強磁性層の積層構成とし、硬磁性膜の磁化の分散を強磁性層で吸収し、かつまた硬磁性膜と強磁性層の磁荷の合計で単磁区化効果を得ることができる。結合層は単磁区化強磁性層と強磁性層を反強磁性的に結合するか、弱く

強磁性的に結合させ、硬磁性膜の磁化の分散から発生する磁界を強磁性層が吸収する効果をもたせるのである。

単磁区化強磁性層は、面内に電流の通じる場合には磁気抵抗効果膜の分流による出力の低下を抑制するために高い電気抵抗を有する薄膜から形成することが望ましい。高抵抗強磁性膜としては、マグネタイト  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  に代表されるフェライト薄膜があり、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Co}$ などの酸化物からなる。または、非導電体と強磁性金属の混合体でも高抵抗磁性膜を形成できる。特に非導電体としてはアルミナや酸化シリコン、磁性金属としては  $\text{Ni-75}\sim\text{85Fe}$ 、 $\text{Co-1}\sim\text{12Fe}$ 、 $\text{Co-2}\sim\text{15Fe}$   $\text{1}\sim\text{30Ni}$ 、などがよい。同様に半導体と強磁性金属の混合体でも良い。半導体としては  $\text{Si}$ 、 $\text{Ge}$ 、これらの化合物などを用いることができる。混合薄膜の形成方法は、従来の真空薄膜形成法を用いて、同時成膜してもよいが、特に非導電体と磁性金属を交互に1ナノメートル程度の極薄い単位設定厚さで積層形成すると、実際には島状組織の形成による磁性金属の分散構造が形成でき、望ましい特性が得られる。

強磁性固定層の磁化は感知すべき磁界の方向と略平行に、また、単磁区化強磁性層の磁化は感知すべき磁界の方向と略垂直に方向付ける必要がある。これを着磁と称するが、それぞれの所定の方向に着磁する着磁工程を製造方法のプロセスとして構成する。

そこで上記磁気ヘッドの製造方法としては、強磁性固定層の磁化方向を着磁する工程と、単磁区化強磁性層の磁化方向を着磁する工程とを有することが特徴である。また、強磁性固定層の磁化方向を着磁する工程と、単磁区化強磁性層の磁化方向を着磁する工程とは、異なる着磁温度にて行うことが有効である。

着磁工程には常温で行う着磁工程と、熱処理炉やホットプレートなどで所定の温度に加熱、熱処理して行う着磁工程がある。上記それぞれの異なる方向への磁化の着磁は常温での着磁工程と熱処理着磁工程を組み合わせるか、あるいは温度の異なる熱処理着磁工程を組み合わせることで達成できる。すなわち強磁性固定層の固定バイアス印加手段と単磁区化強磁性層の磁化の固定手段とを同一の材料・手段で行うよりも、異なる材料・手段で行うことが望ましい。具体的には、強磁性固定層に反強磁性膜を用いて着磁熱処理を行う一方で単磁区化強磁性層を硬磁

性膜で形成して室温にて着磁処理を行うことができる。あるいは、鏡磁性固定層に交換結合磁界が高温まで保持できるMnPt反強磁性膜を用いて250〜300℃程度の高い温度で着磁熱処理を行い、単磁区化強磁性層をMnIr反強磁性層で固定した磁性膜で構成して200℃で異なる方向への着磁熱処理を行うことで望ましい特性を得ることができる。

また、本発明の構成要素である非磁性分離層は、非磁性分離層を介して面で接する軟磁性自由層と単磁区化強磁性層との間の面内の磁気的な結合をなくする機能を有する。この機能を実現するために、非磁性分離層は室温及び磁気ヘッドの動作温度において自発磁化を有さない材料から構成して、軟磁性自由層と単磁区化強磁性層との間に強磁性的な結合を発生しない様に構成する。この場合、非磁性分離層の厚さは少なくとも0.2ナノメートル以上、一般には1ナノメートル以上必要である。しかしながら非磁性分離層の厚さが極端に厚いと十分に閉磁路構造を実現することができない。軟磁性自由層および単磁区化強磁性層の強磁性体からなる部分の膜厚よりも十分に厚い間隙が非磁性分離層のために存在すると漏れ磁界が無視できないからである。したがって非磁性分離層の厚さは5ナノメートルより厚いことが望ましい。一方で、Ru、Ir、Os、Re、Rhなどの材料ではCo/Ru/Coのようなサンドイッチ構造を特定のRuの厚さ、例えば0.8ナノメートルで構成するとCo膜間に面で結合した強い反強磁性的な結合が発生することが知られている。反強磁性的な結合の大きさは数キロエルステッド、すなわち、数百kA/mに達する。、本発明ではこのような強い反強磁性的な結合は望ましくないから、非磁性分離層に上記のRuのような材料を0.8ナノメートルのような所定の厚さで構成することは望ましくない。さまざまな理由でRuなどの材料を非磁性分離層に用いる場合には厚さを例えば2ナノメートルなどに設定することで反強磁性的な結合をなくし、端部での静磁結合に基づいた特性を得ることもできる。あるいは非磁性分離層をRu/Ta層のように積層構成として、Ru層による反強磁性的な結合の発生を抑制した構成をとることもできる。一方でCrなどの材料を特定の厚さ、例えば0.9から1ナノメートルの厚さで用いると、Crを介した強磁性層間に極弱い反強磁性的な結合がある。この場合の結合の大きさはわずかに数十エルステッドすなわち数kA/m程度と極弱い

ので、本発明の主旨に反するものとはならない。

非磁性分離層は磁気抵抗効果積層膜の上部に配置する場合には磁気抵抗効果積層膜の保護膜としての機能を兼ねることもできる。近年、磁気抵抗効果積層膜の保護膜を酸化物あるいは金属と酸化物との積層体から構成すると抵抗変化率などが向上する旨の報告がなされているが、本発明の非磁性分離層が上記構成、すなわち、酸化物、酸化物と金属の積層体などの構成を含んでいても本発明の主旨に反するものではなく、適切な構成を採用することが望ましい。

本発明ではこのような材料、構成、を用いた磁気抵抗効果型磁気ヘッドと、これを再生部とした磁気記録再生装置において、高記録密度、すなわち記録媒体上に記録される記録波長が短く、また、記録トラックの幅が狭い記録を実現して、十分な再生出力を得、記録を良好に保つことができる。

#### 【0005】

##### 【発明の実施の形態】

本発明の巨大磁気抵抗効果積層膜を構成する薄膜は高周波マグネトロンスパッタリング装置により以下のように作製した。アルゴン1から6ミリの雰囲気中にて、厚さ1ミリのセラミックス基板に以下の材料を順次積層して作製した。スパッタリングターゲットとしてタンタル、ニッケル-20at%鉄合金、銅、コバルト、MnPt、ルテニウム、アルミナ、マグネタイト、MnIr、NiMnの各ターゲットを用いた。Coターゲット上には、FeおよびNiの1センチ角のチップを適宜配置して組成を調整した。またマグネタイトターゲット上にはFeチップを配置してFe-O膜の組成を調整した。積層膜は、各ターゲットを配置したカソードに各々高周波電力を印加して装置内にプラズマを発生させておき、各カソードごとに配置されたシャッターを一つずつ開閉して順次各層を形成した。膜形成時には永久磁石を用いて基板に平行におよそ80エルステッドの磁界を印加して、一軸異方性をもたせた。形成した膜を、真空中、磁場中で270℃、3時間の熱処理を行ってMnPt反強磁性膜を相変態させ、室温での磁気抵抗を測定して評価した。MnPt以外の反強磁性膜を併用する場合には異なる温度の着磁熱処理を併用した。また、硬磁性膜を用いた構成では熱処理後に室温で着磁処理を行った。基体上の素子の形成はフォトレジスト工程によってパター

ニングした。その後、基体はスライダ加工し、磁気記録装置に搭載した。

また、磁区制御構造の構成を評価するため、LLG(ランダウーリフシッツーギルバート)法による磁化過程シミュレーションを行って、磁気ヘッドの安定性と出力について比較検討した。

以下に本発明の具体的な実施例を、図を追って説明する。

図1は本発明の巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドの構成例である。対向面に平行な断面図で示した。図は磁気媒体に対向する対向面から眺めた模式図になっている。基体50上に下部磁気シールド35、下部ギャップ膜71を形成し、その上に、巨大磁気抵抗効果積層膜10が形成されてなり、さらに上部ギャップ膜72、上部磁気シールド36を形成して、再生信号を検出する再生ギャップ43を形成してなる。電極40は、巨大磁気抵抗効果積層膜10のトラック幅方向の両端部に接触して配置し、感知電流の印加と電気抵抗の変化の検出を行う。電極40の形成方法およびその形状は、ここではいわゆるリフトオフ法によって作製した構造で記述してあるが他にさまざまな方法が利用できる。巨大磁気抵抗効果積層膜10は、図1では以下の構成例のような構造を有する。

下地膜14、反強磁性膜11、強磁性固定層15、非磁性導電層12、軟磁性自由層13を連続して形成してなる。この構成例では強磁性固定層15は第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152、および反平行結合膜154の積層体からなる。反平行結合膜154は第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152の磁化量の差分に制御する効果がある。ここで強磁性固定層15を単層の磁性体から形成したり、2層や4層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。またここで軟磁性自由層13は第一の自由層軟磁性膜および第二の自由層軟磁性膜の積層体からなるが軟磁性自由層13を単層の磁性体から形成したり、2層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。特に、非磁性導電層12に近い側をCo合金、反対側をNiFe合金から形成すると、軟磁気特性と高い抵抗変化率を両立できてよい。本発明では巨大磁気抵抗効果積層膜10の軟磁性自由層13に積層して単磁区化強磁性層45を配置し、巨大磁気抵抗効果積層

膜 1 0 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなる。ここで単磁区化強磁性層 4 5 は、軟磁性自由層 1 3 と接する非磁性分離層 4 1 1、強磁性層 4 1 2、反強磁性層 4 1 3 および保護膜 3 7 からなる。ここで保護膜 3 7 を省略した構成としても本発明の趣旨に反するものではない。

非磁性分離層 4 1 1 は軟磁性自由層 1 3 と強磁性層 4 1 2 の層間の磁氣的な接合を遮断して両者が強磁性的に結合した磁化過程を取ることを防止する。非磁性分離層 4 1 1 としては例えば T a 1 ナノメートルの層を若干酸化させた層や、さらに R u, C u など積層した膜などを用いることができる。非磁性分離層 4 1 1 もしくはその一部は巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 の保護膜としての機能を兼ねても良い。反強磁性層 4 1 3 は感知すべき磁界と垂直なトラック幅方向に着磁され、強磁性層 4 1 2 に交換結合を印加して強磁性層 4 1 2 の磁化を感知すべき磁界がゼロの状態にトラック幅方向に設定する機能を有する。巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 の軟磁性自由層 1 3 に積層して単磁区化強磁性層 4 5 を配置し、巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなることで、強磁性層 4 1 2 の磁化と軟磁性自由層 1 3 の磁化が互いに反平行になり、トラック幅方向の端部で静磁的に結合、閉磁路を形成して軟磁性自由層 1 3 を単磁区化するのである。軟磁性自由層 1 3 と強磁性層 4 1 2 の端部の距離が十分に近い場合、軟磁性自由層 1 3 と強磁性層 4 1 2 の磁化量はほぼ同一でよい。両者の距離が離れると強磁性層 4 1 2 の磁化量は軟磁性自由層に達するまでに損失する分を加味して軟磁性自由層の磁化量よりも多く設定する。

図中矢印で示したように軟磁性自由層 1 3 の磁化の方向は、単磁区化強磁性層 4 5 の磁化と反平行になり、感知すべき磁界がゼロの状態に略トラック幅の方向になるよう磁気異方性、検知電流の大きさ、強磁性固定層 1 5 の磁化量、素子の奥行きサイズである素子高さ、などを設定してバイアス特性が対称となるように設定する。

図 2 は本発明の巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドの別の構成例である。対向面に平行な断面図で示した。図は磁気媒体に対向する対向面から眺めた模式図になっている。基体 5 0 上に下部磁気シールド 3 5、下部ギャップ膜 7 1 を形成し、その上に、巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 が形成されてなり、さらに上部ギャップ膜 7



2、上部磁気シールド36を形成して、再生信号を検出する再生ギャップ43を形成してなる。電極40は、巨大磁気抵抗効果積層膜10のトラック幅方向の両端部に接触して配置し、感知電流の印加と電気抵抗の変化の検出を行う。電極40の形成方法およびその形状は、ここではいわゆるリフトオフ法によって作製した構造で記述してあるが他にさまざまな方法が利用できる。巨大磁気抵抗効果積層膜10は、図1と同様に図2では以下の構成例のような構造を有する。

下地膜14、反強磁性膜11、強磁性固定層15、非磁性導電層12、軟磁性自由層13を連続して形成してなる。この構成例では強磁性固定層15は第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152、および反平行結合膜154の積層体からなる。反平行結合膜154は第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152の磁化量の差分に制御する効果がある。ここで強磁性固定層15を単層の磁性体から形成したり、2層や4層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。またここで軟磁性自由層13は第一の自由層軟磁性膜および第二の自由層軟磁性膜の積層体からなるが軟磁性自由層13を単層の磁性体から形成したり、2層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。特に、非磁性導電層12に近い側をCo合金、反対側をNiFe合金から形成すると、軟磁気特性と高い抵抗変化率を両立できてよい。本発明では巨大磁気抵抗効果積層膜10の軟磁性自由層13に積層して単磁区化強磁性層45を配置し、巨大磁気抵抗効果積層膜10とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなる。ここで単磁区化強磁性層45は、軟磁性自由層13と接する非磁性分離層411、硬磁性層414および保護膜37からなる。ここで保護膜37を省略した構成としても本発明の趣旨に反するものではない。

非磁性分離層411は軟磁性自由層13と硬磁性層414の層間の磁気的な接合を遮断して両者が強磁性的に結合した磁化過程を取ることを防止する。非磁性分離層411としては例えばTa 1ナノメートルの層を若干酸化させた層や、さらにRu, Cuなどを積層した膜などを用いることができる。非磁性分離層411もしくはその一部は巨大磁気抵抗効果積層膜10の保護膜としての機能を兼ね

ても良い。硬磁性層 414 は感知すべき磁界と垂直なトラック幅方向に着磁され、感知すべき磁界や外乱に対しても硬磁性層 414 の磁化をトラック幅方向に設定する機能を有する。硬磁性層 414 の保磁力はこの機能を果たために 40 kOe 以上、特に 160 kOe 以上とすることが望ましい。巨大磁気抵抗効果積層膜 10 の軟磁性自由層 13 に積層して単磁区化強磁性層 45 を配置し、巨大磁気抵抗効果積層膜 10 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなることで、硬磁性層 414 の磁化と軟磁性自由層 13 の磁化が互いに反平行になり、トラック幅方向の端部で静磁氣的に結合、閉磁路を形成して軟磁性自由層 13 を単磁区化するのである。軟磁性自由層 13 と硬磁性層 414 の端部の距離が十分に近い場合、軟磁性自由層 13 と硬磁性層 414 の磁化量はほぼ同一でよい。両者の距離が離れると硬磁性層 414 の磁化量は軟磁性自由層 13 に達するまでに損失する分を加味して軟磁性自由層 13 の磁化量よりも多く設定する。

図中矢印で示したように軟磁性自由層 13 の磁化の方向は、単磁区化強磁性層 45 の磁化、すなわち硬磁性層 414 の磁化と反平行になり、感知すべき磁界がゼロの状態であらうトラック幅の方向になるよう磁気異方性、検知電流の大きさ、強磁性固定層 15 の磁化量、素子の奥行きサイズである素子高さ、などを設定してバイアス特性が対称となるように設定する。

図 3 は本発明の巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドのまた別の構成例である。対向面に平行な断面図で示した。図は磁気媒体に対向する対向面から眺めた模式図になっている。基体 50 上に下部磁気シールド 35、下部ギャップ膜 71 を形成し、その上に、巨大磁気抵抗効果積層膜 10 が形成されてなり、さらに上部ギャップ膜 72、上部磁気シールド 36 を形成して、再生信号を検出する再生ギャップ 43 を形成してなる。電極 40 は、巨大磁気抵抗効果積層膜 10 のトラック幅方向の両端部に接触して配置し、感知電流の印加と電気抵抗の変化の検出を行う。電極 40 の形成方法およびその形状は、ここではいわゆるリフトオフ法によって作製した構造で記述してあるが他にさまざまな方法が利用できる。巨大磁気抵抗効果積層膜 10 は、図 1、図 2 と同様に図 3 では以下の構成例のような構造を有する。

下地膜 14、反強磁性膜 11、強磁性固定層 15、非磁性導電層 12、軟磁性自

由層 1 3 を連続して形成してなる。この構成例では強磁性固定層 1 5 は第一の強磁性膜 1 5 1 と第二の強磁性膜 1 5 2、および反平行結合膜 1 5 4 の積層体からなる。反平行結合膜 1 5 4 は第一の強磁性膜 1 5 1 と第二の強磁性膜 1 5 2 の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜 1 5 1 と第二の強磁性膜 1 5 2 の磁化量の差分に制御する効果がある。ここで強磁性固定層 1 5 を単層の磁性体から形成したり、2 層や 4 層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。またここで軟磁性自由層 1 3 は第一の自由層軟磁性膜および第二の自由層軟磁性膜の積層体からなるが軟磁性自由層 1 3 を単層の磁性体から形成したり、2 層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。特に、非磁性導電層 1 2 に近い側を Co 合金、反対側を NiFe 合金から形成すると、軟磁気特性と高い抵抗変化率を両立できてよい。本発明では巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 の軟磁性自由層 1 3 に積層して単磁区化強磁性層 4 5 を配置し、巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなる。ここで単磁区化強磁性層 4 5 は、軟磁性自由層 1 3 と接する非磁性分離層 4 1 1、軟磁性緩衝層 4 1 6、結合層 4 1 5、硬磁性層 4 1 4 および保護膜 3 7 からなる。ここで保護膜 3 7 を省略した構成としても本発明の趣旨に反するものではない。

非磁性分離層 4 1 1 は軟磁性自由層 1 3 と軟磁性緩衝層 4 1 6 の層間の磁気的な接合を遮断して両者が強磁性的に結合した磁化過程を取ることを防止する。非磁性分離層 4 1 1 としては例えば Ta 1 ナノメートルの層を若干酸化させた層や、さらに Ru, Cu などを積層した膜などを用いることができる。非磁性分離層 4 1 1 もしくはその一部は巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 の保護膜としての機能を兼ねても良い。本構成例では軟磁性緩衝層 4 1 6 は結合層 4 1 5 を介して硬磁性膜 4 1 4 と強磁性的に結合し、結合層 4 1 5 はこの強磁性的結合を適度な大きさに制御する機能を有する。結合層 4 1 5 としては Ta、アルミナなどの膜を用いることができる。軟磁性緩衝層 4 1 6 は硬磁性膜 4 1 4 の磁化の分散によって発生する磁界を吸収し、軟磁性自由層 1 3 の磁気特性の悪化を防止する。

硬磁性層 4 1 4 は感知すべき磁界と垂直なトラック幅方向に着磁され、感知すべき磁界や外乱に対しても硬磁性層 4 1 4 の磁化および軟磁性緩衝層 4 1 6 の磁化

をトラック幅方向に設定する機能を有する。硬磁性層 4 1 4 の保磁力はこの機能を果たために 4 0 k O e 以上、特に 1 6 0 k O e 以上とすることが望ましい。巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 の軟磁性自由層 1 3 に積層して単磁区化強磁性層 4 5 を配置し、巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなることで、軟磁性緩衝層 4 1 6 の磁化、硬磁性層 4 1 4 の磁化と軟磁性自由層 1 3 の磁化が互いに反平行になり、トラック幅方向の端部で静磁氣的に結合し、合計の磁化が閉磁路を形成して軟磁性自由層 1 3 を単磁区化するのである。軟磁性自由層 1 3 と、軟磁性緩衝層 4 1 6 および硬磁性層 4 1 4 の端部の距離が十分に近い場合、軟磁性自由層 1 3 の磁化量と、軟磁性緩衝層 4 1 6 と硬磁性層 4 1 4 の磁化量の合計はほぼ同一でよい。両者の距離が離れると軟磁性緩衝層 4 1 6 と硬磁性層 4 1 4 の磁化量の合計は軟磁性自由層 1 3 に達するまでに損失する分を加味して軟磁性自由層 1 3 の磁化量よりも多く設定する。

図中矢印で示したように軟磁性自由層 1 3 の磁化の方向は、単磁区化強磁性層 4 5 の磁化、すなわち軟磁性緩衝層 4 1 6 と硬磁性層 4 1 4 の磁化と反平行になり、感知すべき磁界がゼロの状態です。略トラック幅の方向になるよう磁気異方性、検知電流の大きさ、強磁性固定層 1 5 の磁化量、素子の奥行きサイズである素子高さ、などを設定してバイアス特性が対称となるように設定する。

図 4 は本発明の巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドのさらに別の構成例である。対向面に平行な断面図で示した。図は磁気媒体に対向する対向面から眺めた模式図になっている。基体 5 0 上に下部磁気シールド 3 5、下部ギャップ膜 7 1 を形成し、その上に、巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 が形成されてなり、さらに上部ギャップ膜 7 2、上部磁気シールド 3 6 を形成して、再生信号を検出する再生ギャップ 4 3 を形成してなる。電極 4 0 は、巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 のトラック幅方向の両端部に接触して配置し、感知電流の印加と電気抵抗の変化の検出を行う。電極 4 0 の形成方法およびその形状は、ここではいわゆるリフトオフ法によって作製した構造で記述してあるが他にさまざまな方法が利用できる。巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 は、図 1 から 3 と同様に図 4 では以下の構成例のような構造を有する。

下地膜 1 4、反強磁性膜 1 1、強磁性固定層 1 5、非磁性導電層 1 2、軟磁性自

由層 13 を連続して形成してなる。この構成例では強磁性固定層 15 は第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152、および反平行結合膜 154 の積層体からなる。反平行結合膜 154 は第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化量の差分に制御する効果がある。ここで強磁性固定層 15 を単層の磁性体から形成したり、2層や 4 層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。またここで軟磁性自由層 13 は第一の自由層軟磁性膜および第二の自由層軟磁性膜の積層体からなるが軟磁性自由層 13 を単層の磁性体から形成したり、2層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。特に、非磁性導電層 12 に近い側を Co 合金、反対側を NiFe 合金から形成すると、軟磁気特性と高い抵抗変化率を両立できてよい。本発明では巨大磁気抵抗効果積層膜 10 の軟磁性自由層 13 に積層して単磁区化強磁性層 45 を配置し、巨大磁気抵抗効果積層膜 10 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなる。ここで単磁区化強磁性層 45 は、軟磁性自由層 13 と接する非磁性分離層 411、軟磁性緩衝層 416、結合層 415、硬磁性層 414 および保護膜 37 からなる。ここで保護膜 37 を省略した構成としても本発明の趣旨に反するものではない。

非磁性分離層 411 は軟磁性自由層 13 と軟磁性緩衝層 416 の層間の磁気的な接合を遮断して両者が強磁性的に結合した磁化過程を取ることを防止する。非磁性分離層 411 としては例えば Ta 1 ナノメートルの層を若干酸化させた層や、さらに Ru, Cu などを積層した膜などを用いることができる。非磁性分離層 411 もしくはその一部は巨大磁気抵抗効果積層膜 10 の保護膜としての機能を兼ねても良い。本構成例と図 3 の例との違いは結合層 415 および軟磁性緩衝層 416 の磁化方向にある。本構成例では軟磁性緩衝層 416 は結合層 415 を介して硬磁性膜 414 と反強磁性的に結合し、結合層 415 はこの反強磁性的結合を発生せしめる機能を有する。結合層 415 としては Ru、Ir などの膜を所定の厚さにして用いることができる。軟磁性緩衝層 416 は硬磁性膜 414 の磁化の分散によって発生する磁界を吸収し、軟磁性自由層 13 の磁気特性の悪化を防止する。

硬磁性層 4 1 4 は感知すべき磁界と垂直なトラック幅方向に着磁され、感知すべき磁界や外乱に対しても硬磁性層 4 1 4 の磁化および軟磁性緩衝層 4 1 6 の磁化をトラック幅方向に設定する機能を有する。硬磁性層 4 1 4 および軟磁性緩衝層 4 1 6 の積層膜での保磁力はこの機能を果すために 4 0 k O e 以上、特に 1 6 0 k O e 以上とすることが望ましい。巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 の軟磁性自由層 1 3 に積層して単磁区化強磁性層 4 5 を配置し、巨大磁気抵抗効果積層膜 1 0 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなることで、硬磁性層 4 1 4 の磁化と、軟磁性緩衝層 4 1 6 の磁化および軟磁性自由層 1 3 の磁化が互いに反平行になり、トラック幅方向の端部で静磁氣的に結合し、合計の磁化が閉磁路を形成して軟磁性自由層 1 3 を単磁区化するのである。軟磁性自由層 1 3 および軟磁性緩衝層 4 1 6 と、硬磁性層 4 1 4 の端部の距離が十分に近い場合、軟磁性自由層 1 3 の磁化量と、硬磁性層 4 1 4 の磁化量と軟磁性緩衝層 4 1 6 の磁化量の差分とはほぼ同一でよい。両者の距離が離れると硬磁性層 4 1 4 の磁化量は軟磁性自由層 1 3 に達するまでに損失する分を加味して硬磁性層 4 1 4 の磁化量と軟磁性緩衝層 4 1 6 の磁化量の差分を軟磁性自由層 1 3 の磁化量よりも多く設定する。図中矢印で示したように軟磁性自由層 1 3 および軟磁性緩衝層 4 1 6 の磁化の方向は、硬磁性層 4 1 4 の磁化と反平行になり、感知すべき磁界がゼロの状態では略トラック幅の方向になるよう磁気異方性、検知電流の大きさ、強磁性固定層 1 5 の磁化量、素子の奥行きサイズである素子高さ、などを設定してバイアス特性が対称となるように設定する。

以下図 5 から図 8 では、比較のため従来技術の構造の磁気ヘッドについて述べる。

図 5 は従来のハードバイアス構造の磁気ヘッドの磁気抵抗効果素子の概念図である。図 5 上部は斜視図で、図 5 下部は断面方向から見た図で示してある。磁区制御膜 4 1 は、硬磁性膜あるいは残留磁化を有する磁性膜などから形成して巨大磁気抵抗効果積層膜内の軟磁性自由層 1 3 に隣接して配置し、軟磁性自由層 1 3 に単磁区化のためのバイアス効果を及ぼす機能を有する。理想的には軟磁性自由層 1 3 の磁化量と磁区制御膜 4 1 の磁化量、あるいは残留磁化量、はほぼ同一として互いの端部の静磁場を打ち消すことが望まれるが、実際には図 5 下部に示した

ような位置ずれが製造上どうしても発生するために、軟磁性自由層 13 を安定に単磁区化するためには磁区制御膜 41 の磁化量を軟磁性自由層 13 の磁化量の数倍以上に設定する必要がある。図 6 は従来のハードバイアス構造の磁区制御膜の磁化量とヘッド出力の関係の計算結果を示した図である。磁区制御膜の磁化量が軟磁性自由層の磁化量の 10 倍程度に大きいと過剰な単磁区化バイアスのために軟磁性自由層が感知すべき磁界に対して磁化しにくくなり、ヘッド出力が低いことがわかる。このヘッド出力の低下はトラック幅が狭いほど顕著であり、高記録密度の磁気ヘッドにおいて極めて重要である。磁区制御膜の磁化量を低減すると、過剰な単磁区化バイアスが低減するため出力が増加していくが、磁区制御膜の磁化量が軟磁性自由層の磁化量の 5 倍以下程度になると LLG 計算が収束しなくなり、結果が得られなかった。これは軟磁性自由層が多磁区状態になって一定の平衡状態が計算上で得られなかったためで、すなわちハードバイアス構造において磁区制御膜の磁化量が軟磁性自由層の磁化量の数倍以下では磁気ヘッドの出力が不安定であることを示している。したがってハードバイアス構造では狭トラックにおいて十分な出力が安定に得られないことがわかる。

同様に図 7 は従来技術のパターンドエクスチェンジ構造の磁気ヘッドの磁気抵抗効果素子の概念図である。図 7 上部は斜視図で、図 7 下部は断面方向から見た図で示してある。軟磁性自由層 13 はトラック幅よりも広く形成され、反強磁性膜 46 は軟磁性自由層 13 のトラック幅より外側の部分に接触且つ積層して形成されて軟磁性自由層 13 の非感磁領域に交換結合磁界を印加して磁氣的にトラック幅を規定する。すなわち、軟磁性自由層 13 上の両端部の反強磁性膜 46 の間隔がトラック幅を規定するのである。この構造ではハードバイアス構造のような位置ずれや磁化量の増加のような問題は生じないが、別種の問題が存在することがシミュレーションからわかる。理想的には軟磁性自由層 13 上の両端部の反強磁性膜 46 の間隔でトラック幅が規定されるのであるが、実際には反強磁性膜 46 の交換結合磁界で固定された部分と中央部感磁領域の部分の軟磁性自由層 13 は互いに干渉するのである。図 8 は従来技術のパターンドエクスチェンジ構造の交換結合磁界とマイクロトラック曲線の関係の計算結果を示した図である。交換結合磁界が  $400 \text{ kA/m}$  と十分大きい場合、軟磁性自由層の非感磁領域の磁化は

固定されて出力に寄与せず、狭くて良好なマイクロトラック曲線が得られている。しかしながら出力は低い。これは固定された非感磁領域の磁化が近傍の中央感磁領域の軟磁性自由層の磁化と静磁気的かつ交換結合的に相互作用して中央感磁領域の端部よりの領域の感知すべき磁界に対する感度を低下させるためである。したがってトラック幅が狭いほどこのような影響は強いことが解かる。一方で交換結合磁界を  $80 \text{ kA/m}$  に低下させた結果では高い出力が得られる反面、マイクロトラック曲線は反強磁性膜の間隔で設定されたトラック幅の間隔より広がってしまった出力曲線を示した。これは交換結合磁界を低く設定した結果、反強磁性膜の下部の非感磁領域の軟磁性自由層の磁化が感知すべき磁界に対して磁化するようになり、中央感磁領域の軟磁性自由層の感度を低下させなくなった反面、非感磁領域の軟磁性自由層が磁化することによる出力が発生していわゆる「読みにじみ」が発生したためである。以上のように狭トラックのパターンドエクスチェンジ構造において端部反強磁性膜の交換結合磁界を大きく設定すると出力が低下し、交換結合磁界を低く設定すると読みにじみが発生するために十分な出力とトラック幅方向の分解能が同時に得られないことがわかる。

図9は本発明の閉磁路磁区制御構造の磁気ヘッドの磁気抵抗効果素子の概念図である。図9上部は斜視図で、図9下部は断面方向から見た図で示してある。単磁区化強磁性層45は、反強磁性膜で交換結合を印加された強磁性膜、硬磁性膜あるいは残留磁化を有する磁性膜などから形成して巨大磁気抵抗効果積層膜内の軟磁性自由層13に面を介した磁気的な結合を切断して積層配置し、軟磁性自由層13に単磁区化のためのバイアス効果を及ぼす機能を有する。ハードバイアス構造と異なり、理想的には軟磁性自由層13の磁化量と単磁区化強磁性層45の磁化量をほぼ同一として互いの端部の静磁場を打ち消すことできる。これは本発明の構造が積層配置してほぼ同一のトラック幅形状に形成することで、軟磁性自由層13と単磁区化強磁性層45の端部に位置ずれが無く、間に挟まれる膜の厚さ程度の間隙しか形成されないからである。また、単磁区化強磁性層45の磁化量を軟磁性自由層13より若干大きく設定して、より安定に設計することもできる。図10は本発明の閉磁路磁区制御構造の磁気ヘッドの単磁区化強磁性層の磁化量とヘッド出力の関係の計算結果を示した図である。単磁区化強磁性層の磁化量



が大きい領域から小さい領域の広い範囲にわたって安定した出力があり、単磁区化強磁性層の磁化量が軟磁性自由層の磁化量の1倍と小さくすることで高い出力を安定に得られることがわかる。このヘッド出力は従来技術に比べてトラック幅が狭いくとも低下しない傾向が顕著であり、高記録密度の磁気ヘッドにおいて極めて重要である。さらに単磁区化強磁性層の磁化量を低減して軟磁性自由層の磁化量の1倍より小さくなるとLLG計算が収束しなくなり、結果が得られなかった。これは軟磁性自由層が多磁区状態になって一定の平衡状態が計算上で得られなかったためである。従来技術のハードバイアス構造では、磁区制御膜の磁化量が軟磁性自由層の5倍より小さな値で多磁区状態となったのに対して、本発明の構造では多磁区強磁性層の磁化量が軟磁性自由層の1倍まで単磁区化状態を保つことができ、このために狭いトラック幅においてハードバイアス構造よりも数倍高い出力を安定に得ることができるのである。図11は本発明の閉磁路磁区制御構造の磁気ヘッドのマイクロトラック曲線の計算結果を示した図である。単磁区化強磁性層の磁化量を、軟磁性自由層の磁化量との比率に対して変化させた結果を示してある。軟磁性自由層がトラック幅のサイズにパターニングされており、さらに閉じる磁区制御構造によって端部からの磁束漏洩による感度の低下がないため、幾何トラック幅が0.18ミクロンと狭いにもかかわらず本発明の磁気ヘッドのマイクロトラック曲線はトラック幅が狭いにもかかわらず端部できわめて急峻で良好な特性と高い出力を示していることがわかる。また、単磁区化強磁性層の磁化量を軟磁性自由層の3倍まで大きく設定しても、マイクロトラック曲線の幅は殆ど変化せず、出力の低下も従来のハードバイアス構造に比べて小さいことがわかる。以上のように本発明の構造により狭トラックの磁気ヘッドにおいて読みにじみの発生しない、安定で高い出力が達成できることがわかった。同様の計算をトラック幅の大きさを変えて行った結果、本発明の磁気ヘッドはトラック幅が0.2ミクロンより狭い領域で従来構造より高い出力と分解能を有し、トラック幅が0.1ミクロン以下、0.05ミクロン程度まで高い出力を有することがわかった。

図12および図13では従来技術のハードバイアス構造と本発明の磁化分布の違いを示して上記特性の原因について述べる。図12は従来技術のハードバイアス

構造の軟磁性自由層の磁化分布の計算結果を示した図である。幾何トラック幅を0.18ミクロン、素子高さを0.16ミクロンで計算した結果を0.1ミクロンごとに分割して示した。一つ一つの矢印はその場所での磁化の方向を示している。3つの分布図は感知すべき磁界をゼロ、正、および負に加えた場合の磁化分布を示しており、端的に言えば正の場合と負の場合の矢印の回転の差分がその磁化部分の磁界感度の高さを示しているといつてよい。従来技術のハードバイアス構造の磁化分布はトラック幅の中央部ではトラック幅方向（図12で真横の方向）から大きく振れており、感知すべき磁界によって磁化が回転している、すなわち感度があることを図12は示している。一方でトラック幅の端部周辺では矢印はトラック幅方向からあまり振れておらず、感知すべき磁界によっても磁化が回転しない、感度が低下した状態にあることがわかる。磁気抵抗効果型磁気ヘッドの出力はこれらの軟磁性自由層の磁化分布の総計であるから、ハードバイアス構造の磁気ヘッドはトラック幅が狭いと感度が低下するのである。一方で図13は本発明の閉磁路磁区制御構造での軟磁性自由層の磁化分布の計算結果を示した図である。図12と同様に一つ一つの矢印はその場所での磁化の方向を示している。幾何トラック幅を0.18ミクロン、素子高さを0.16ミクロンで計算した結果を0.2ミクロンごとに分割して示した。磁化分布はトラック幅の中央部および端部のどの場所においてもトラック幅方向（図13で真横の方向）から大きく振れており、感知すべき磁界によって磁化が回転している、すなわち感度が高いことを示している。磁気抵抗効果型磁気ヘッドの出力はこれらの軟磁性自由層の磁化分布の総計であるから、本発明の閉磁路磁区制御構造の磁気ヘッドは狭いトラック幅においても端部に起因する感度低下が無く、安定な出力と急峻なマイクロトラック特性を達成できるのである。

図14は本発明の磁気ヘッドの着磁方法の一例を示した概念図である。図1に示した本発明の構成例のように巨大磁気抵抗効果膜の強磁性固定層の磁化の固定に反強磁性膜を用い、かつ単磁区化強磁性層の磁化の固定を反強磁性膜で行う場合には互いの交換結合磁界をそれぞれ素子高さ方向、トラック幅方向に設定する必要がある。図14下部の図は種類の異なる反強磁性膜MnPtおよびMnIr膜を用いた場合の交換結合エネルギーの温度依存性を示した図である。MnIr膜

は250℃程度のブロッキング温度、すなわち交換結合磁界の上限温度を示すが、MnPt膜はさらに高く330℃程度のブロッキング温度を示している。この温度特性の違いを用いて、例えばMnPt膜を所定の磁場内で270℃で熱処理して、230℃程度まで冷却し、その後磁場の方向を変えて室温まで冷却すると、MnPt膜の交換結合を当初の磁場の方向に、MnIr膜の交換結合を室温までの冷却時の磁場の方向に着磁することが可能である。このように反強磁性膜の種類を変え、温度範囲を適切に選択すればそれぞれの交換結合磁界の方向を異なる方向に着磁できることがわかる。

図15はマグネタイト膜の磁化曲線である。厚さ10ナノメートルで電気抵抗は5000マイクロオームセンチメートル以上、保磁力40kA/m以上である。このような電気抵抗の高い磁性膜を本発明の単磁区化強磁性層に用いると抵抗変化率の高い、すなわちより出力の高い磁気ヘッドを得ることができる。単磁区化強磁性層としては、図1に示した強磁性層412や、図2、3、4に示した硬磁性層414、さらに図3、4の例の軟磁性緩衝層416に用いるとよい。マグネタイト膜の形成方法としては例えば、マグネタイトのスパッタリングターゲットを用いて薄膜形成することが望ましい。結晶性のよいマグネタイトを得るには基板加熱やイオンビームアシストなどの技術を用いることができる。またはマグネタイトとFeなどの金属を同時スパッタなどの手法で混合して薄膜形成し、熱処理によってマグネタイトを析出させてもよい。このようにマグネタイトは化学量論組成でなくてもよいし、金属などとの混層状態であっても本発明の主旨に反するものではないし、同様に組成の異なる強磁性のフェライト薄膜を用いてもよい。

図16から図20には本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の積層構成例について記載した。

図16は本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第一の積層構成例である。本構成は図1の構造例の具体例に相当する。基体50上に下地膜14としてTa 3nm、NiFe 3nm、反強磁性膜11としてMnPt 12nm、第二の強磁性膜152としてCoFe 1.5nm、反平行結合膜154としてRu 0.8nm、第一の強磁性膜151としてCoFe 2.

5 nm、非磁性導電層 12 として Cu 2.1 nm、第二の自由層軟磁性膜 132 として CoFe 0.5 nm、第一の自由層軟磁性膜 131 として NiFe 4 nm、保護膜兼、非磁性分離層 411 として Cu 1 nm、Ta/Ta-O 1.0 nm、強磁性層 412 として CoFe 3 nm、反強磁性層 413 として MnIr 7 nm、および保護膜 37 として Ta 3 nm を連続して形成してなる。

この構成例では巨大磁気抵抗効果積層膜 10 において強磁性固定層 15 は反平行結合膜 154、第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 からなる。反平行結合膜 154 である Ru 層は第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化量の差分に制御する効果がある。またここで軟磁性自由層 13 は第一の自由層軟磁性膜である NiFe および第二の自由層軟磁性膜である CoFe の積層体からなる。同様にここで単磁区化強磁性層 45 は、軟磁性自由層 13 と接する非磁性分離層 411、強磁性層 412、反強磁性層 413 および保護膜 37 からなる。非磁性分離層 411 は巨大磁気抵抗効果積層膜 10 の保護膜を兼ねていてもよく、保護膜と非磁性分離層 411 の明確な境界は特に存在しなくてよい。非磁性分離層 411 は軟磁性自由層 13 と単磁区化強磁性層 45、特に強磁性層 412 との間に面を介した磁気的な結合が生じないようにする機能を有し、かつトラック幅方向での端部での軟磁性自由層 13 と単磁区化強磁性層 45、特に強磁性層 412 との静磁気的な結合を良好に保つために非磁性分離層 411 の厚さは合計で 2 ナノメートルと薄く構成してなる。

図 17 は本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第二の積層構成例である。本構成は図 1 の構造例の具体例に相当する。基体 50 上に下地膜 14 として Ta 3 nm、NiFe 3 nm、反強磁性膜 11 として MnPt 12 nm、第二の強磁性膜 152 として CoFe 1.5 nm、反平行結合膜 154 として Ru 0.8 nm、第一の強磁性膜 151 として CoFe 2.5 nm、非磁性導電層 12 として Cu 2.1 nm、第二の自由層軟磁性膜 132 として CoFe 0.5 nm、第一の自由層軟磁性膜 131 として NiFe 4 nm、保護膜兼、非磁性分離層 411 として Cu 1 nm、Ta/Ta-O 1.

0 nm、強磁性層 412 として CoFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 混合膜 6 nm および CoFe 1 nm、反強磁性層 413 として MnIr 7 nm、および保護膜 37 として Ta 3 nm を連続して形成してなる。

この構成例では巨大磁気抵抗効果積層膜 10 において強磁性固定層 15 は反平行結合膜 154、第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 からなる。反平行結合膜 154 である Ru 層は第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化量の差分に制御する効果がある。またここで軟磁性自由層 13 は第一の自由層軟磁性膜である NiFe および第二の自由層軟磁性膜である CoFe の積層体からなる。同様にここで単磁区化強磁性層 45 は、軟磁性自由層 13 と接する非磁性分離層 411、強磁性層 412、反強磁性層 413 および保護膜 37 からなる。非磁性分離層 411 は巨大磁気抵抗効果積層膜 10 の保護膜を兼ねていてもよく、保護膜と非磁性分離層 411 の明確な境界は特に存在しなくてよい。非磁性分離層 411 は軟磁性自由層 13 と単磁区化強磁性層 45、特に強磁性層 412 との間に面を介した磁気的な結合が生じないようにする機能を有し、かつトラック幅方向での端部での軟磁性自由層 13 と単磁区化強磁性層 45、特に強磁性層 412 との静磁気的な結合を良好に保つために非磁性分離層 411 の厚さは合計で 2 ナノメートルと薄く構成してなる。強磁性層 412 は一部が CoFe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 混合膜からなり、電気抵抗を部分的に高めることで出力を向上させる効果がある。

図 18 は本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第三の積層構成例である。本構成は図 2 の構造例の具体例に相当する。基体 50 上に下地膜 14 として Ta 3 nm、NiFe 3 nm、反強磁性膜 11 として MnPt 12 nm、第二の強磁性膜 152 として CoFe 1.5 nm、反平行結合膜 154 として Ru 0.8 nm、第一の強磁性膜 151 として CoFe 2.5 nm、非磁性導電層 12 として Cu 2.1 nm、第二の自由層軟磁性膜 132 として CoFe 0.5 nm、第一の自由層軟磁性膜 131 として NiFe 4 nm、保護膜兼、非磁性分離層 411 として Cu 1 nm、Ta/Ta-O 1.0 nm および Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1 nm、硬磁性層 414 として Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 8 nm、お

よび保護膜37としてTa 3nmを連続して形成してなる。

この構成例では巨大磁気抵抗効果積層膜10において強磁性固定層15は反平行結合膜154、第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152からなる。反平行結合膜154であるRu層は第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152の磁化量の差分に制御する効果がある。またここで軟磁性自由層13は第一の自由層軟磁性膜であるNiFeおよび第二の自由層軟磁性膜であるCoFeの積層体からなる。同様にここで単磁区化強磁性層45は、軟磁性自由層13と接する非磁性分離層411、硬磁性層414および保護膜37からなる。非磁性分離層411は巨大磁気抵抗効果積層膜10の保護膜を兼ねていてもよく、保護膜と非磁性分離層411の明確な境界は特に存在しなくてよい。非磁性分離層411は軟磁性自由層13と単磁区化強磁性層45、特に硬磁性層414との間に面を介した磁気的な結合が生じないようにする機能を有し、かつトラック幅方向での端部での軟磁性自由層13と単磁区化強磁性層45、特に硬磁性層414との静磁気的な結合を良好に保つために非磁性分離層411の厚さは合計で3ナノメートルと薄く構成してなる。また硬磁性層414はFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>と記載したが厳密に化学量論組成である必要はなく、あるいは金属などが混合しても本構成例の主旨を逸脱するものではない。

図19は本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第四の積層構成例である。本構成は図3の構造例の具体例に相当する。基体50上に下地膜14としてTa 3nm、NiFe 3nm、反強磁性膜11としてMnPt 12nm、第二の強磁性膜152としてCoFe 1.5nm、反平行結合膜154としてRu 0.8nm、第一の強磁性膜151としてCoFe 2.5nm、非磁性導電層12としてCu 2.1nm、第二の自由層軟磁性膜132としてCoFe 0.5nm、第一の自由層軟磁性膜131としてNiFe 4nm、保護膜兼、非磁性分離層411としてCu 1nm、Ta/Ta-O 1.0nmおよびAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1nm、軟磁性緩衝層416としてCoFe 1nm、結合層415としてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1nm、硬磁性層414としてFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 8nmを連続して形成してなる。本例では保護膜を特に用いなくても問題がない。

この構成例では巨大磁気抵抗効果積層膜 10 において強磁性固定層 15 は反平行結合膜 154、第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 からなる。反平行結合膜 154 である Ru 層は第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化量の差分に制御する効果がある。またここで軟磁性自由層 13 は第一の自由層軟磁性膜である NiFe および第二の自由層軟磁性膜である CoFe の積層体からなる。同様にここで単磁区化強磁性層 45 は、軟磁性自由層 13 と接する非磁性分離層 411、軟磁性緩衝層 416、結合層 415、硬磁性層 414 からなる。非磁性分離層 411 は巨大磁気抵抗効果積層膜 10 の保護膜を兼ねていてもよく、保護膜と非磁性分離層 411 の明確な境界は特に存在しなくてよい。非磁性分離層 411 は軟磁性自由層 13 と単磁区化強磁性層 45、特に軟磁性緩衝層 416 との間に面を介した磁気的な結合が生じないようにする機能を有し、かつトラック幅方向での端部での軟磁性自由層 13 と単磁区化強磁性層 45、特に軟磁性緩衝層 416 との静磁気的な結合を良好に保つために非磁性分離層 411 の厚さは合計で 3 ナノメートルと薄く構成してなる。また硬磁性層 414 は Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> と記載したが厳密に化学量論組成である必要はなく、あるいは金属などが混合しても本構成例の主旨を逸脱するものではない。

結合層 415 は硬磁性層 414 と軟磁性緩衝層 416 の間の磁気的な結合を制御する。ここでは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を用いて硬磁性層 414 と軟磁性緩衝層 416 の間に強磁性的な結合を発生させる例を示した。結合層 415 に Ru などの反強磁性的な結合を発生させる材料を選択すると図 4 に記載の構成例を実現することができる。

図 20 は本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第五の積層構成例である。本構成は図 1 の構造例を基体に対して上下逆にした具体例に相当する。基体 50 上に下地膜 14 として Ta 3 nm、NiFe 3 nm、反強磁性層 413 として NiMn 20 nm、強磁性層 412 として CoFe 3 nm、非磁性分離層 411 として Ru 0.4 nm および Cu 1 nm、第一の自由層軟磁性膜 131 として NiFe 4 nm、第二の自由層軟磁性膜 132 と

してCoFe 0.5nm、非磁性導電層12としてCu 2.1nm、第一の強磁性膜151としてCoFe 2.5nm、反平行結合膜154としてRu 0.8nm、第二の強磁性膜152としてCoFe 1.5nm、反強磁性膜11としてMnPt 12nm、および保護膜37としてTa 3nmを連続して形成してなる。

この構成例では巨大磁気抵抗効果積層膜10において強磁性固定層15は反平行結合膜154、第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152からなる。反平行結合膜154であるRu層は第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜151と第二の強磁性膜152の磁化量の差分に制御する効果がある。またここで軟磁性自由層13は第一の自由層軟磁性膜であるNiFeおよび第二の自由層軟磁性膜であるCoFeの積層体からなる。同様にここで単磁区化強磁性層45は、軟磁性自由層13と接する非磁性分離層411、強磁性層412、反強磁性層413および保護膜37からなる。非磁性分離層411は巨大磁気抵抗効果積層膜10の保護膜を兼ねていてもよく、保護膜と非磁性分離層411の明確な境界は特に存在しなくてよい。非磁性分離層411は軟磁性自由層13と単磁区化強磁性層45、特に強磁性層412との間に面を介した磁気的な結合が生じないようにする機能を有し、かつトラック幅方向での端部での軟磁性自由層13と単磁区化強磁性層45、特に強磁性層412との静磁気的な結合を良好に保つために非磁性分離層411の厚さは合計で1.4ナノメートルと薄く構成してなる。

図21は本発明を適用したトンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドの構成例である。対向面に平行な断面図で示した。図は磁気媒体に対向する対向面から眺めた模式図になっている。基体50上に下部磁気シールド35、下部導電性ギャップ膜711を形成し、その上に、トンネル磁気抵抗効果積層膜101が形成されてなり、さらに上部導電性ギャップ膜721、上部磁気シールド36を形成して、再生信号を検出する再生ギャップ43を形成してなる。絶縁膜73は、トンネル磁気抵抗効果積層膜101のトラック幅方向の両端部に接触して配置し、感知電流がトンネル磁気抵抗効果積層膜101の膜厚方向に流れるように、他の部分を絶縁



する。絶縁膜 7 3 の形成方法およびその形状は、ここではいわゆるリフトオフ法によって作製した構造で記述してあるが他にさまざまな方法が利用できる。トンネル磁気抵抗効果積層膜 1 0 1 は、図 2 1 では以下の構成例のような構造を有する。

下地膜 1 4、反強磁性膜 1 1、強磁性固定層 1 5、非磁性絶縁ギャップ層 1 2 1、軟磁性自由層 1 3 を連続して形成してなる。この構成例では強磁性固定層 1 5 は第一の強磁性膜 1 5 1 と第二の強磁性膜 1 5 2、および反平行結合膜 1 5 4 の積層体からなる。反平行結合膜 1 5 4 は第一の強磁性膜 1 5 1 と第二の強磁性膜 1 5 2 の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜 1 5 1 と第二の強磁性膜 1 5 2 の磁化量の差分に制御する効果がある。ここで強磁性固定層 1 5 を単層の磁性体から形成したり、2 層や 4 層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。またここで軟磁性自由層 1 3 は第一の自由層軟磁性膜および第二の自由層軟磁性膜の積層体からなるが軟磁性自由層 1 3 を単層の磁性体から形成したり、2 層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。本発明ではトンネル磁気抵抗効果積層膜 1 0 1 の軟磁性自由層 1 3 に積層して単磁区化強磁性層 4 5 を配置し、トンネル磁気抵抗効果積層膜 1 0 1 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなる。ここで単磁区化強磁性層 4 5 は、軟磁性自由層 1 3 と接する非磁性分離層 4 1 1、強磁性層 4 1 2、反強磁性層 4 1 3 および保護膜 3 7 からなる。ここで保護膜 3 7 を省略した構成としても本発明の趣旨に反するものではない。また、反強磁性層 4 1 3 および強磁性層 4 1 2 のかわりに図 2 や図 3 のように硬磁性膜および硬磁性膜と軟磁性膜の組み合わせを用いても同様の効果が得られる。

非磁性分離層 4 1 1 は軟磁性自由層 1 3 と強磁性層 4 1 2 の層間の磁気的な接合を遮断して両者が強磁性的に結合した磁化過程を取ることを防止する。非磁性分離層 4 1 1 としては例えば Ta 1 ナノメートルの層や、さらに Ru, Cu など を積層した膜などを用いることができる。ただし、Ru など を、単層で、強磁性体の間に 0.8 ナノメートルなどの所定の厚さで配置すると、強磁性体間に面内に働く強い反強磁性的な結合を発生してしまうので望ましくない。また、非磁性

分離層 4 1 1 を介して隣接する強磁性体部分から磁気抵抗効果が発生すると信号波形が変形してしまう恐れがあり望ましくない。したがって非磁性分離層 4 1 1 の部分が例えば Cu 2 ナノメートル単層で、かつ強磁性体に挟まれているような構成は本発明の主旨とする所でない。非磁性分離層 4 1 1 もしくはその一部はトンネル磁気抵抗効果積層膜 1 0 1 の保護膜としての機能を兼ねても良い。反強磁性層 4 1 3 は感知すべき磁界と垂直なトラック幅方向に着磁され、強磁性層 4 1 2 に交換結合を印加して強磁性層 4 1 2 の磁化を感知すべき磁界がゼロの状態のトラック幅方向に設定する機能を有する。トンネル磁気抵抗効果積層膜 1 0 1 の軟磁性自由層 1 3 に積層して単磁区化強磁性層 4 5 を配置し、トンネル磁気抵抗効果積層膜 1 0 1 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなることで、強磁性層 4 1 2 の磁化と軟磁性自由層 1 3 の磁化が互いに反平行になり、トラック幅方向の端部で静磁的に結合、閉磁路を形成して軟磁性自由層 1 3 を単磁区化するのである。軟磁性自由層 1 3 と強磁性層 4 1 2 の端部の距離が十分に近い場合、軟磁性自由層 1 3 と強磁性層 4 1 2 の磁化量はほぼ同一でよい。両者の距離が離れると強磁性層 4 1 2 の磁化量は軟磁性自由層に達するまでに損失する分を加味して軟磁性自由層の磁化量よりも多く設定する。

図中矢印で示したように軟磁性自由層 1 3 の磁化の方向は、単磁区化強磁性層 4 5 の磁化と反平行になり、感知すべき磁界がゼロの状態の略トラック幅の方向になるよう磁気異方性、検知電流の大きさ、強磁性固定層 1 5 の磁化量、素子の奥行きサイズである素子高さ、などを設定してバイアス特性が対称となるように設定する。

本図では非磁性絶縁ギャップ層 1 2 1 を用いたトンネル磁気抵抗ヘッドの例を示したが、非磁性絶縁ギャップ層 1 2 1 のかわりに導電性中間層を用いて巨大磁気抵抗効果積層膜に厚さ方向に電流を流す CPP 型巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドとしても本図とほぼ同一の構成で良好な効果が得られる。

図 2 2 は本発明を適用したトンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドの別の構成例である。対向面に垂直な断面図で示した。図は磁気媒体に対向する対向面と基板面に垂直な断面をトラック幅方向から眺めた模式図になっている。基体 5 0 上に下部磁気シールド 3 5、下部導電性ギャップ膜 7 1 1 を形成し、その上に、トンネル

磁気抵抗効果積層膜 101 が形成されてなり、さらに上部導電性ギャップ膜 721、上部磁気シールド 36 を形成して、再生信号を検出する再生ギャップ 43 を形成してなる。絶縁膜 73 は、トンネル磁気抵抗効果積層膜 101 のトラック幅方向および素子高さ方向の両端部に接触して配置し、感知電流がトンネル磁気抵抗効果積層膜 101 の膜厚方向に流れるように、他の部分を絶縁する。絶縁膜 73 の形成方法およびその形状は、ここではいわゆるリフトオフ法によって作製した構造で記述してあるが他にさまざまな方法が利用できる。トンネル磁気抵抗効果積層膜 101 は、図 22 では以下の構成例のような構造を有する。

下地膜 14、反強磁性膜 11、強磁性固定層 15、非磁性絶縁ギャップ層 121、軟磁性自由層 13 を連続して形成してなる。この構成例では強磁性固定層 15 は第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152、および反平行結合膜 154 の積層体からなる。反平行結合膜 154 は第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化を互いに反平行に配列させる交換結合を印加して、強磁性固定層の実質的な磁化の量を第一の強磁性膜 151 と第二の強磁性膜 152 の磁化量の差分に制御する効果がある。ここで強磁性固定層 15 を単層の磁性体から形成したり、2層や4層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。またここで軟磁性自由層 13 は第一の軟磁性自由層 133 および第二の軟磁性自由層 134 の積層体からなる。軟磁性自由層 13 を単層の磁性体から形成したり、2層以上の積層体から形成しても何ら本発明の趣旨に反するものではない。ここで軟磁性自由層 13 の一部、特に図 22 の例では第二の軟磁性自由層 134 はトンネル磁気抵抗効果積層膜 101 の他の部分よりも素子高さ方向に大きい形状に形成され、対抗面 63 まで伸展配置されて、対向面 63 から磁束を誘導するフラックスガイドの機能を有する。図の例では第一の軟磁性自由層 133 の磁化の量に対して第二の軟磁性自由層 134 の磁化の量を大きく設定して実質的に第二の軟磁性自由層 134 の磁化が支配的であるようにすることが望ましい。本発明ではトンネル磁気抵抗効果積層膜 101 の軟磁性自由層 13、特に実質的に支配的な第二の軟磁性自由層に積層して単磁区化強磁性層 45 を配置し、トンネル磁気抵抗効果積層膜 101 とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなる。ここで単磁区化強磁性層 45 は、軟磁性自由層 13 と接する非磁性分離層

411、強磁性層412、および反強磁性層413からなる。また、反強磁性層413および強磁性層412のかわりに図2や図3のように硬磁性膜および硬磁性膜と軟磁性膜の組み合わせを用いても同様の効果が得られる。

非磁性分離層411は軟磁性自由層13と強磁性層412の層間の磁気的な接合を遮断して両者が強磁性的に結合した磁化過程を取ることを防止する。非磁性分離層411としては例えばTa 1ナノメートルの層や、さらにRu, Cuなどを積層した膜などを用いることができる。非磁性分離層411もしくはその一部はトンネル磁気抵抗効果積層膜101の保護膜としての機能を兼ねても良い。反強磁性層413は感知すべき磁界と垂直なトラック幅方向に着磁され、強磁性層412に交換結合を印加して強磁性層412の磁化を感知すべき磁界がゼロの状態ですトラック幅方向に設定する機能を有する。トンネル磁気抵抗効果積層膜101の軟磁性自由層13に積層して単磁区化強磁性層45を配置し、トンネル磁気抵抗効果積層膜101とほぼ同一のトラック幅方向のサイズに形成してなることで、強磁性層412の磁化と軟磁性自由層13の磁化が互いに反平行になり、トラック幅方向の端部で静磁气的に結合、閉磁路を形成してフラックスガイドを兼ねる軟磁性自由層13を単磁区化するのである。軟磁性自由層13と強磁性層412の端部の距離が十分に近い場合、軟磁性自由層13と強磁性層412の磁化量はほぼ同一でよい。両者の距離が離れると強磁性層412の磁化量は軟磁性自由層に達するまでに損失する分を加味して軟磁性自由層の磁化量よりも多く設定する。

図中矢印等で示したように軟磁性自由層13の磁化の方向は、単磁区化強磁性層45の磁化と反平行になり、感知すべき磁界がゼロの状態ですトラック幅の方向になるよう磁気異方性、検知電流の大きさ、強磁性固定層15の磁化量、素子の奥行きサイズである素子高さ、などを設定してバイアス特性が対称となるように設定する。

本図では非磁性絶縁ギャップ層121を用いたトンネル磁気抵抗ヘッドの例を示したが、非磁性絶縁ギャップ層121のかわりに導電性中間層を用いて巨大磁気抵抗効果積層膜に厚さ方向に電流を流すCPP型巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドとしても本図とほぼ同一の構成で良好な効果が得られる。

図23は本発明の磁気抵抗効果素子による磁気センサーを搭載した磁気ヘッドの構成例の概念図である。基体50上に磁気抵抗効果積層膜10、単磁区化強磁性層45、電極40、下部磁気シールド35、上部磁気シールド36、下部磁気コア84、コイル42、上部コア83を形成してなり、対向面63を形成してなる。本図では個別に上部シールドと下部コアとを形成した構造になっているが、上部シールドが下部コアを兼ねた構造としても本発明の主旨を損なうものではない。下部磁気コア84、コイル42、上部磁気コア83は記録ヘッドを構成し、電磁誘導効果によって発生する磁界を対向面63の記録ギャップから発生して磁気ディスク上の記録媒体に記録する。

図24は本発明の磁気記録再生装置の構成例である。磁氣的に情報を記録する記録媒体91を保持するディスク95をスピンドルモーター93にて回転させ、アクチュエーター92によってヘッドスライダー90をディスク95のトラック上に誘導する。即ち磁気ディスク装置においてはヘッドスライダー90上に形成した再生ヘッド、及び記録ヘッドがこの機構に依ってディスク95上の所定の記録位置に近接して相對運動し、信号を順次書き込み、及び読み取るのである。アクチュエーター92はロータリーアクチュエーターであることが望ましい。記録信号は信号処理系94を通じて記録ヘッドにて媒体上に記録し、再生ヘッドの出力を、信号処理系94を経て信号として得る。さらに再生ヘッドを所望の記録トラック上へ移動せしめるに際して、本再生ヘッドからの高感度な出力を用いてトラック上の位置を検出し、アクチュエーターを制御して、ヘッドスライダーの位置決めを行うことができる。本図ではヘッドスライダー90、ディスク95を各1個示したが、これらは複数であっても構わない。またディスク95は両面に記録媒体91を有して情報を記録してもよい。情報の記録がディスク両面の場合ヘッドスライダー90はディスクの両面に配置する。

#### 【0006】

上述したような構成について、本発明の磁気ヘッドおよびこれを搭載した磁気記録再生装置を試験した結果、十分な出力と、良好なバイアス特性を示し、また動作の信頼性も良好であった。

#### 【0007】

図 2 5 は従来技術の構造及び本発明の構造の磁気ヘッドの再生トラック幅と再生出力の関係を示したものである。面内に電流が流れる従来型の巨大磁気抵抗効果素子を用いた磁気ヘッドの結果を示した。従来技術のハードバイアス構造の磁気ヘッドでは、再生トラック幅が広いときには高い出力が得られているが、再生トラック幅が狭くなると再生出力は低下し、特に再生トラック幅が $0.2\mu\text{m}$ 以下では再生出力は半分以下になってしまっている。これに対して本発明の磁気ヘッドでは、電流の分流による損失がために再生トラック幅が広いときには再生出力が低い、再生トラック幅が狭くなってもほとんど再生出力の低下がなく、その結果従来技術の磁気ヘッドと比べて高い再生出力が得られる。特に再生トラック幅が $0.2\mu\text{m}$ 以下の磁気ヘッドでは従来ヘッドより1割から数倍以上高い出力を得ることができるのである。以上のように本発明は磁気ヘッドとして高い性能を示し、特に記録密度の高い磁気記録再生装置を実現可能とする。

【 0 0 0 8 】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明によれば安定した特性と、出力の高い磁気センサと、これを用いた磁気ヘッドが得られ、特に高い記録密度において良好な再生出力を有する磁気ヘッドおよび高密度磁気記録再生装置を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドの構成例である。

【図 2】

本発明の巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドの別の構成例である。

【図 3】

本発明の巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドのまた別の構成例である。

【図 4】

本発明の巨大磁気抵抗効果型磁気ヘッドのさらに別の構成例である。

【図 5】

従来のハードバイアス構造の磁気ヘッドの磁気抵抗効果素子の概念図である。

【図 6】

従来のハードバイアス構造の磁区制御膜の磁化量とヘッド出力の関係の計算結果を示した図である。

【図 7】

従来技術のパターンドエクスチェンジ構造の磁気ヘッドの磁気抵抗効果素子の概念図である。

【図 8】

従来技術のパターンドエクスチェンジ構造の交換結合磁界とマイクロトラック曲線の関係の計算結果を示した図である。

【図 9】

本発明の閉磁路磁区制御構造の磁気ヘッドの磁気抵抗効果素子の概念図である。

【図 1 0】

本発明の閉磁路磁区制御構造の磁気ヘッドの単磁区化強磁性層の磁化量とヘッド出力の関係の計算結果を示した図である。

【図 1 1】

本発明の閉磁路磁区制御構造の磁気ヘッドのマイクロトラック曲線の計算結果を示した図である。

【図 1 2】

従来技術のハードバイアス構造の軟磁性自由層の磁化分布の計算結果を示した図である。

【図 1 3】

本発明の閉磁路磁区制御構造での軟磁性自由層の磁化分布の計算結果を示した図である。

【図 1 4】

本発明の磁気ヘッドの着磁方法の一例を示した概念図である。

【図 1 5】

マグネタイト膜の磁化曲線である。

【図 1 6】

本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第一の積層構成例である。

【図 1 7】

本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第二の積層構成例である。

【図 1 8】

本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第三の積層構成例である。

【図 1 9】

本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第四の積層構成例である。

【図 2 0】

本発明の磁気ヘッドの巨大磁気抵抗効果積層膜及び単磁区化強磁性層の第五の積層構成例である。

【図 2 1】

本発明のトンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドの構成例である。

【図 2 2】

本発明のトンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドの別の構成例である。

【図 2 3】

本発明の磁気抵抗効果素子による磁気センサーを搭載した磁気ヘッドの構成例の概念図である。

【図 2 4】

本発明の磁気記録再生装置の構成例である。

【図 2 5】

従来技術の構造及び本発明の構造の磁気ヘッドの再生トラック幅と再生出力の関係を示した図である。

【符号の説明】

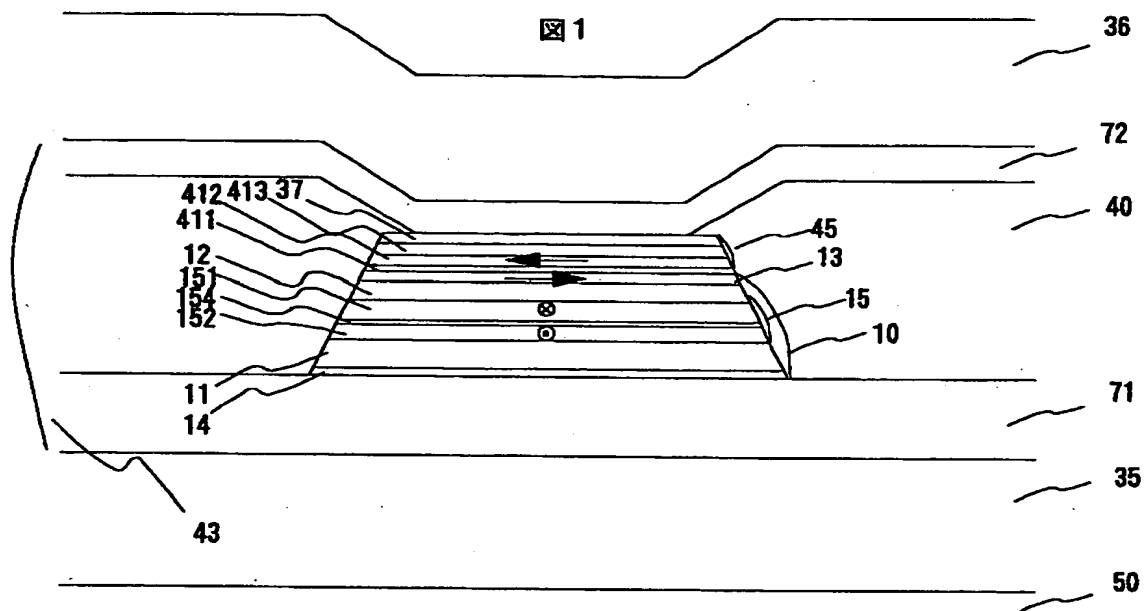
1 0 . . . 巨大磁気抵抗効果積層膜、1 0 1 . . . トンネル磁気抵抗効果積層膜、1 1 . . . 反強磁性膜、1 2 . . . 非磁性導電層、1 2 1 . . . 非磁性絶縁ギャップ層、1 3 . . . 軟磁性自由層、1 3 1 . . . 第一の自由層軟磁性膜、1 3 2 . . . 第二の自由層軟磁性膜、1 3 3 . . . 第一の軟磁性自由層、1 3 4、



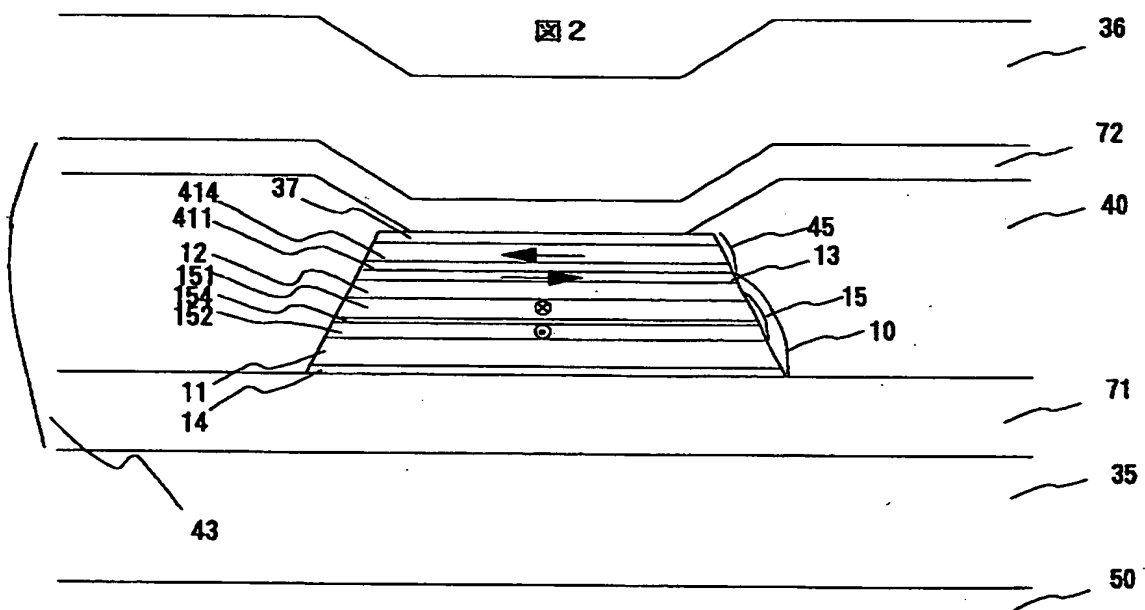
第二の軟磁性自由層、14... 下地膜、15... 強磁性固定層、151.  
... 第一の強磁性膜、152... 第二の強磁性膜、154... 反平行結合層  
、35... 下部磁気シールド、36... 上部磁気シールド、37... 保護  
膜、40... 電極、41... 磁区制御膜、411... 非磁性分離層、41  
2... 強磁性層、413... 反強磁性層、414... 硬磁性層、415.  
... 結合層、416... 軟磁性緩衝層、42... コイル、43... 再生ギ  
ャップ、44... 記録トラック、45... 単磁区化強磁性層、46... 反  
強磁性膜、50... 基体、63... 対向面、64... 漏洩磁界、71..  
... 下部ギャップ膜、711... 下部導電性ギャップ膜、72... 上部ギ  
ャップ膜、721... 上部導電性ギャップ膜、73... 絶縁膜、83... 上  
部磁気コア、84... 下部磁気コア、90... ヘッドスライダー、91..  
... 記録媒体、92... アクチュエーター、93... スピンドル、94...  
信号処理系、95... 磁気ディスク。

【書類名】 図面

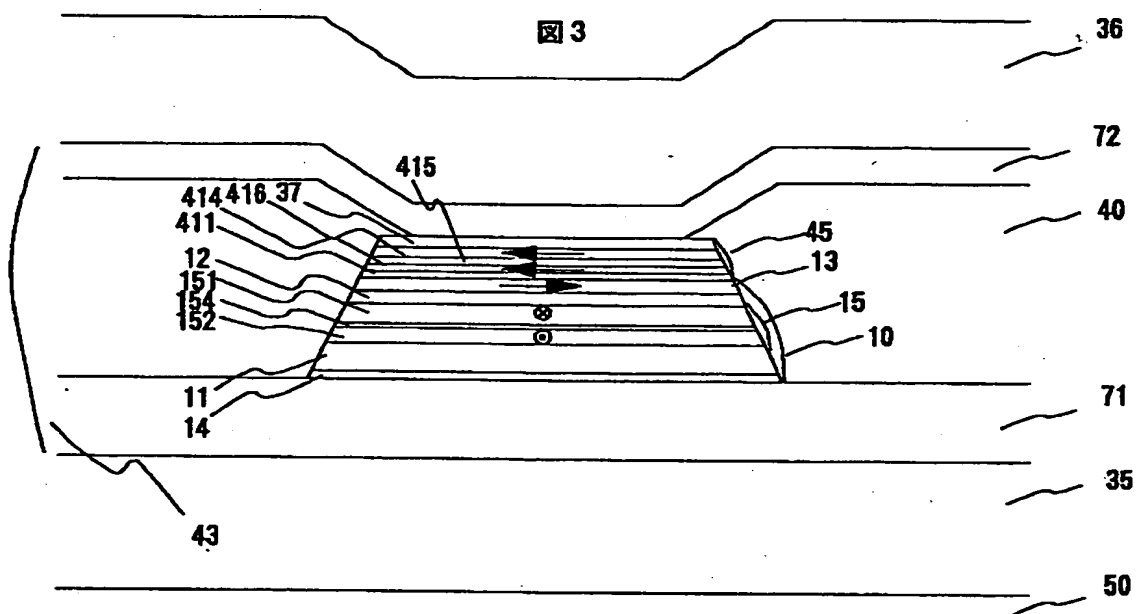
【図 1】



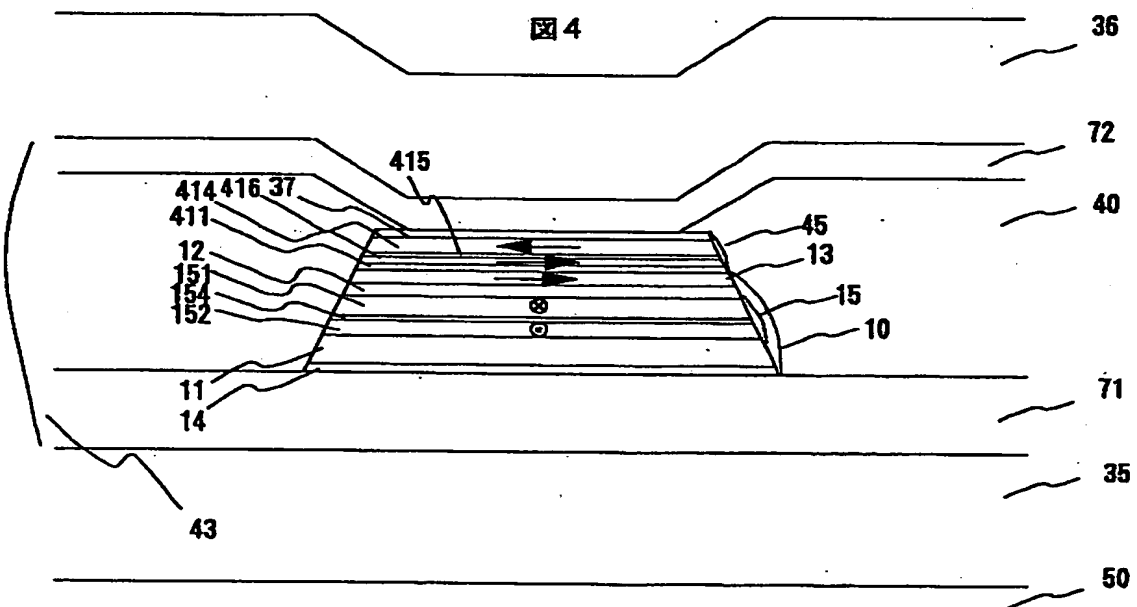
【図 2】



【図 3】

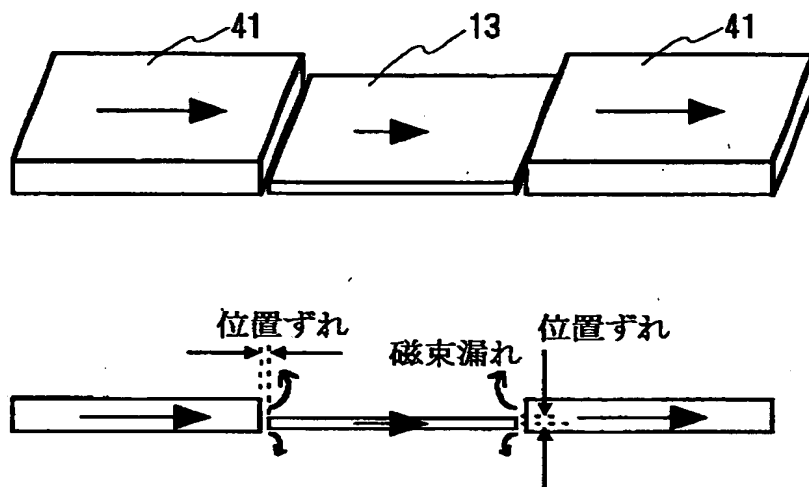


【図 4】



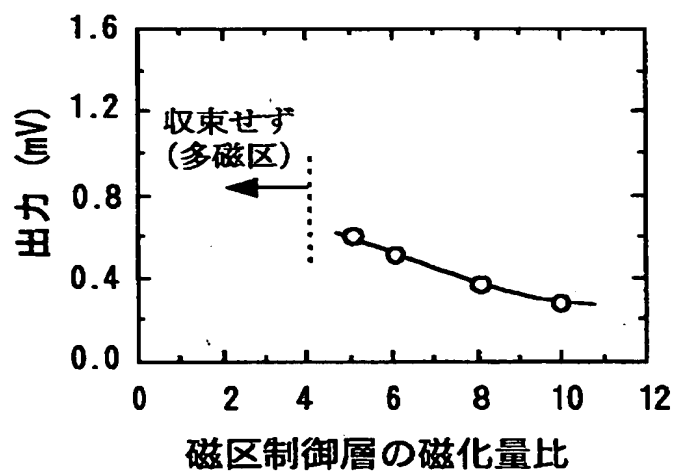
【図5】

図5



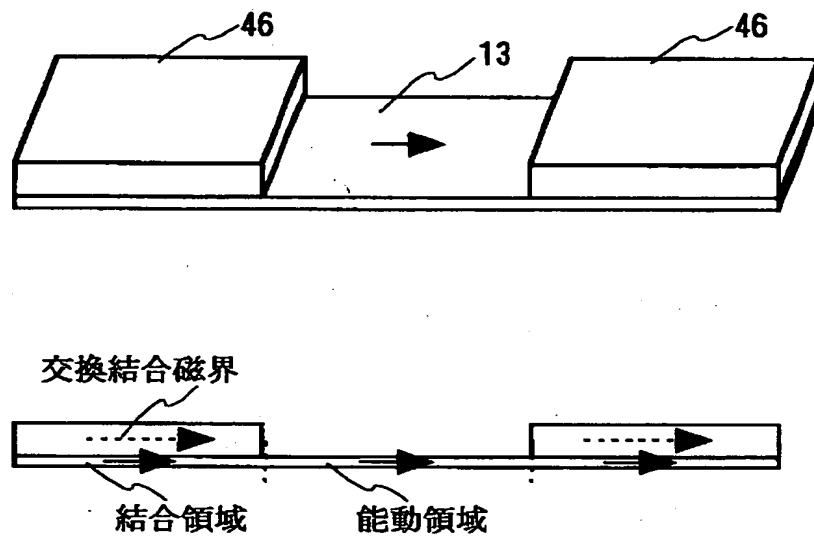
【図6】

図6



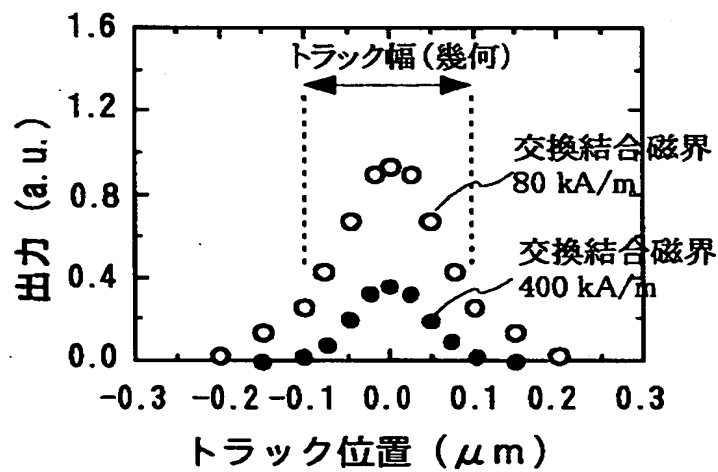
【図 7】

図7



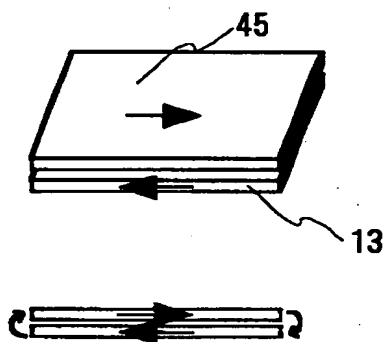
【図 8】

図8



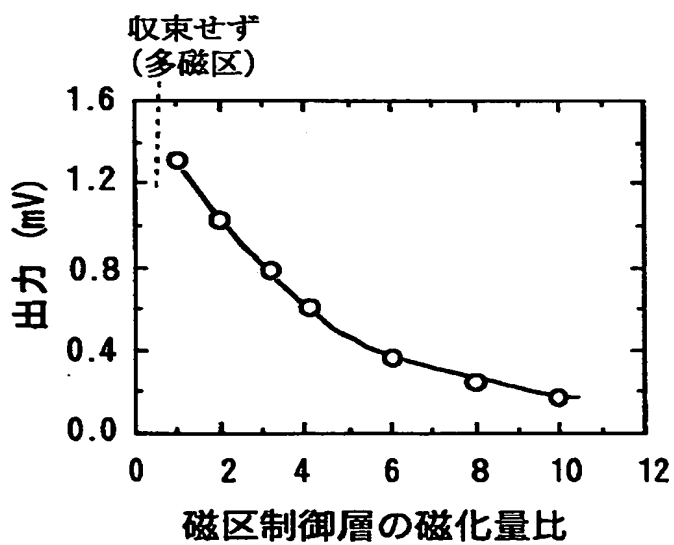
【図9】

図9



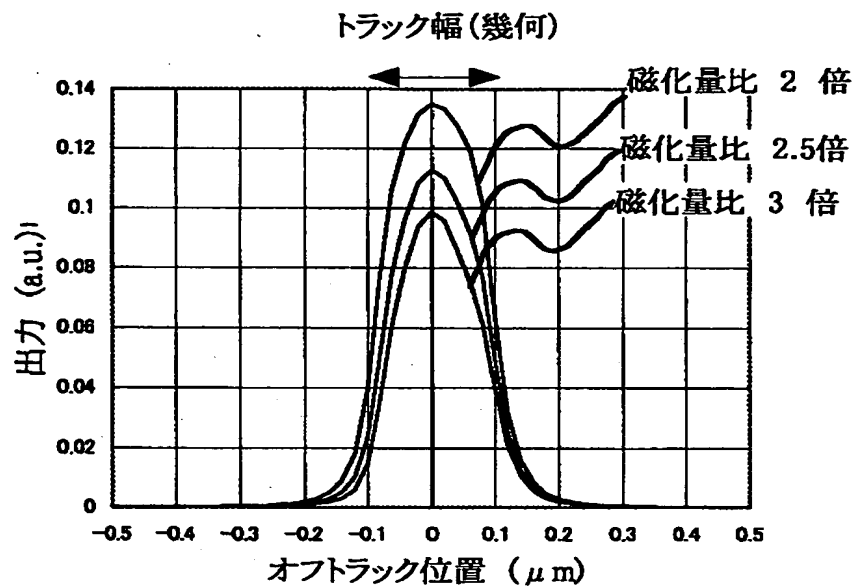
【図10】

図10



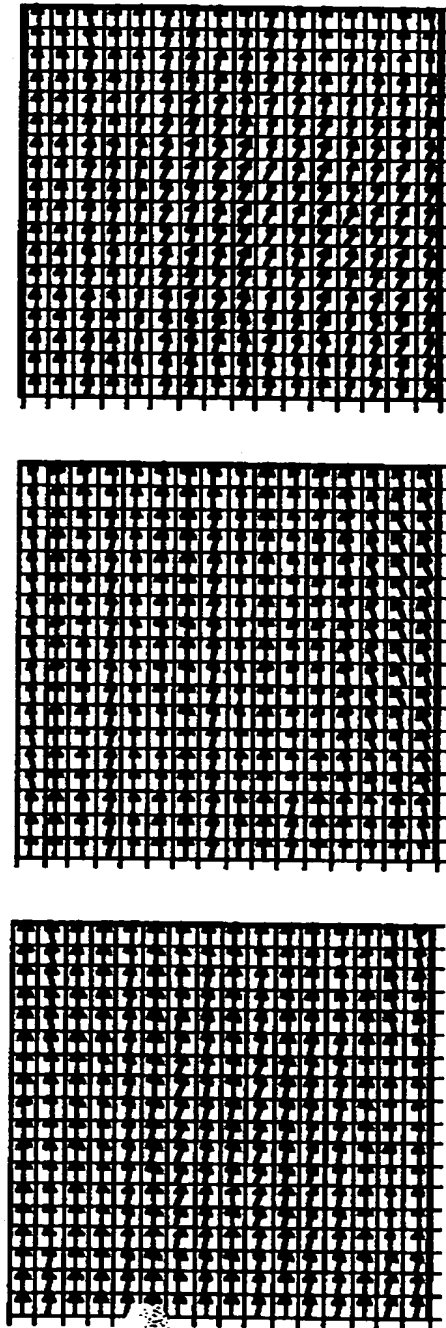
【図11】

図11



【図 1 2】

図 1 2

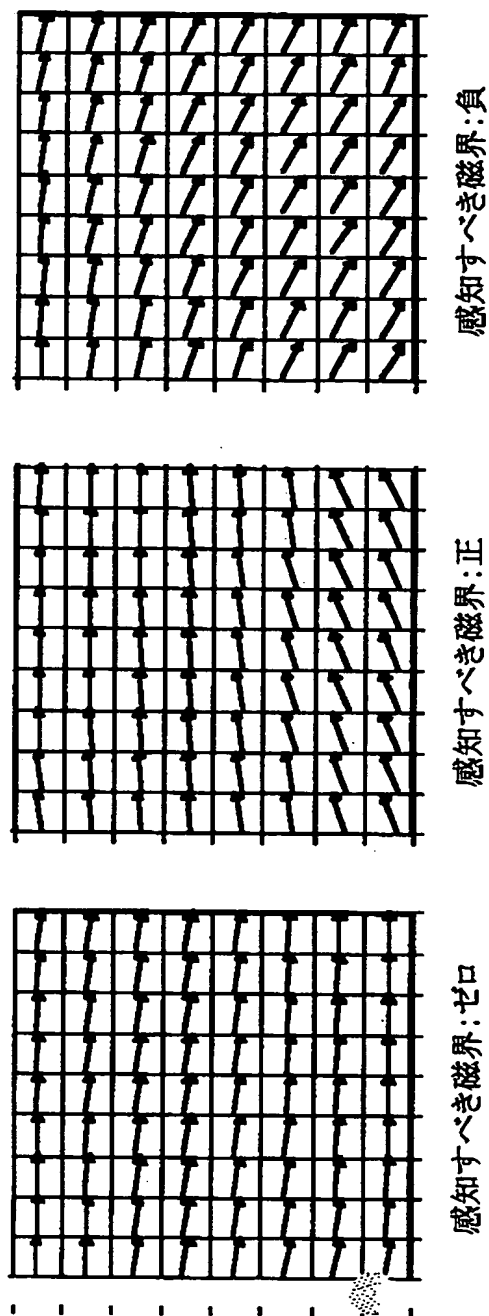


ハードバイアス膜の磁化分布

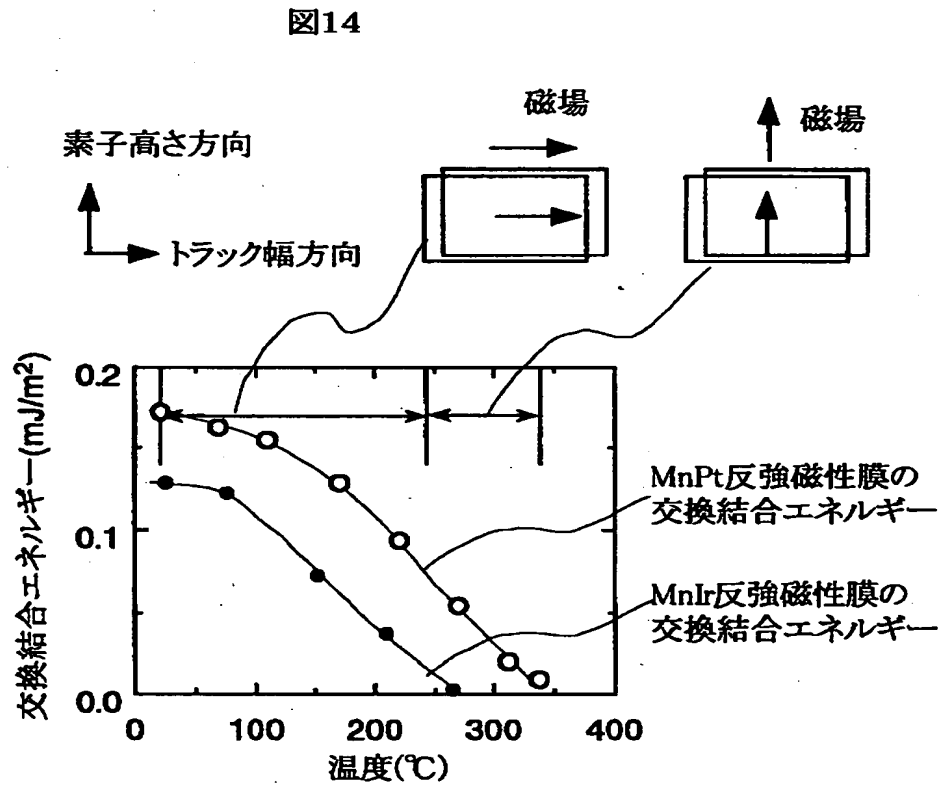


【図 13】

図13

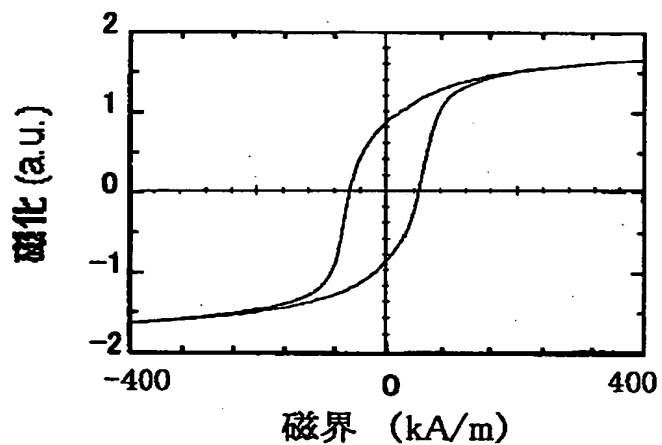


【図14】



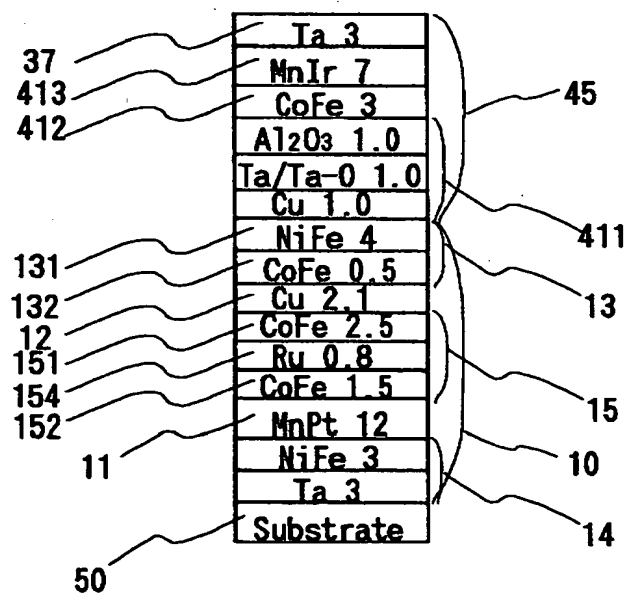
【図 1 5】

図15



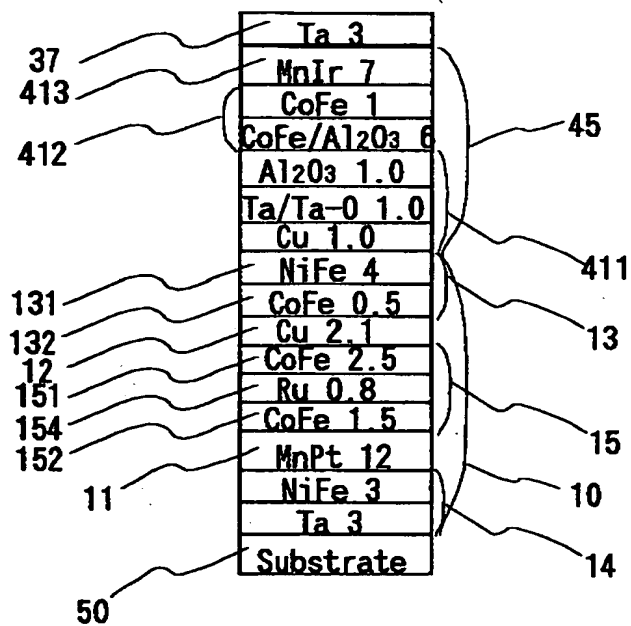
【図 1 6】

図16



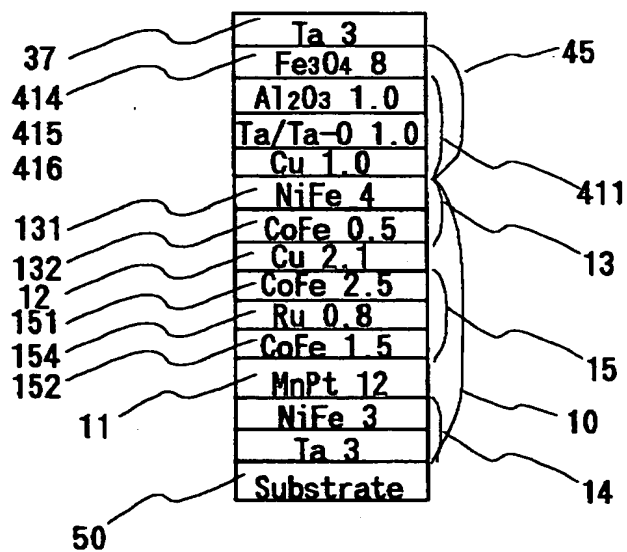
【図17】

図17



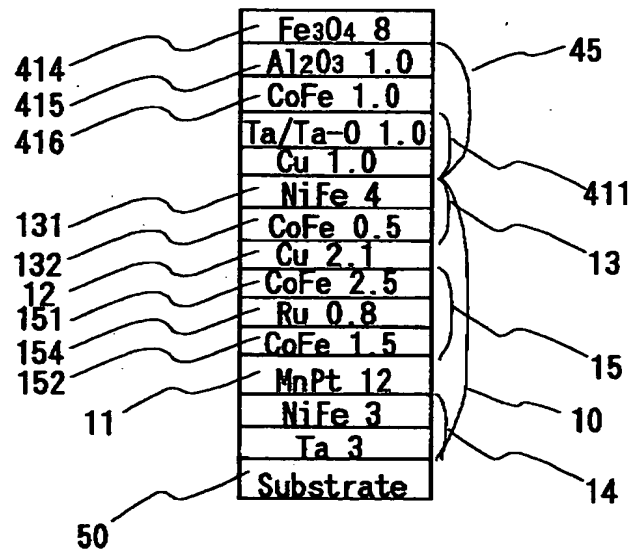
【図18】

図18



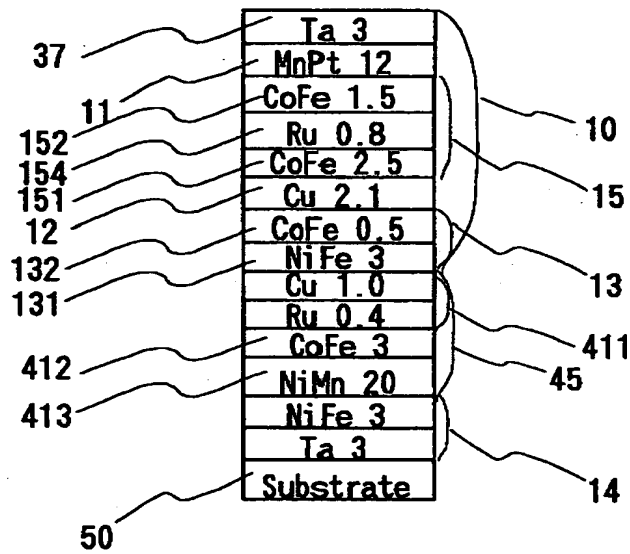
【図19】

図19



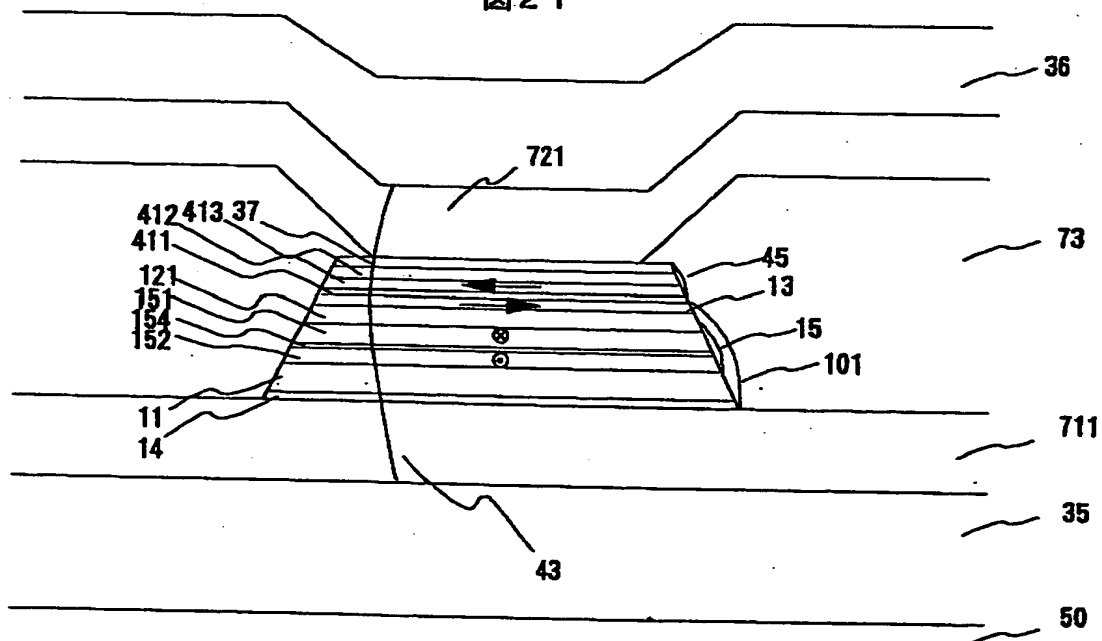
【図20】

図20

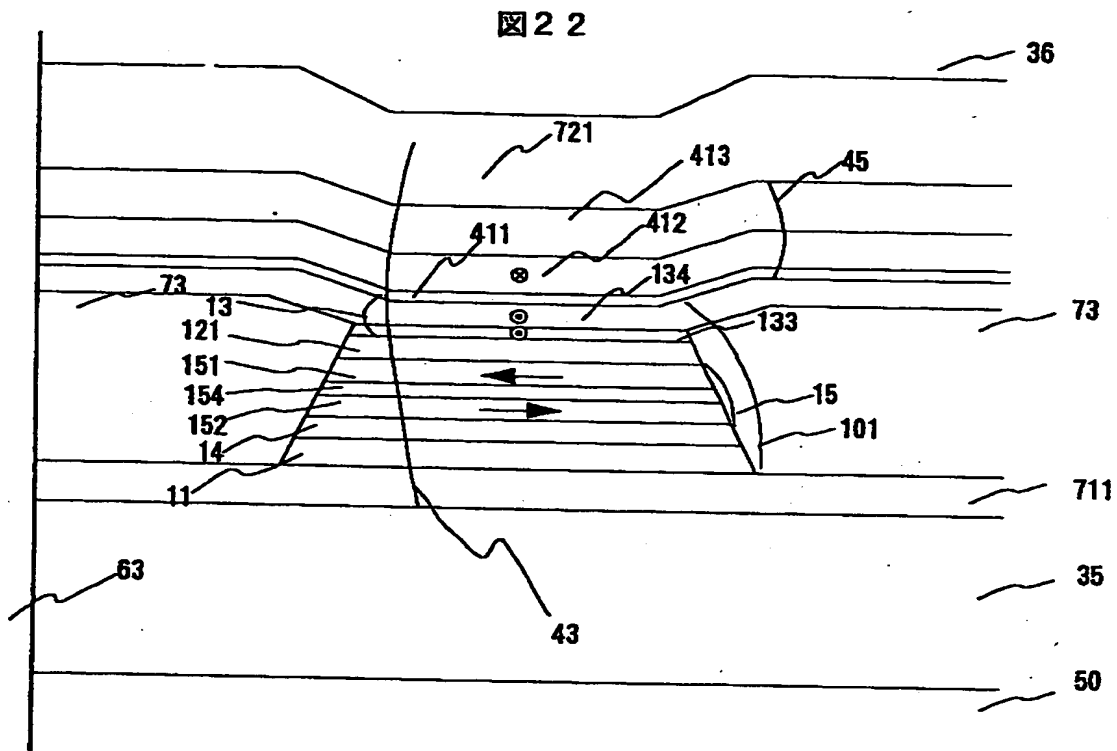


【図21】

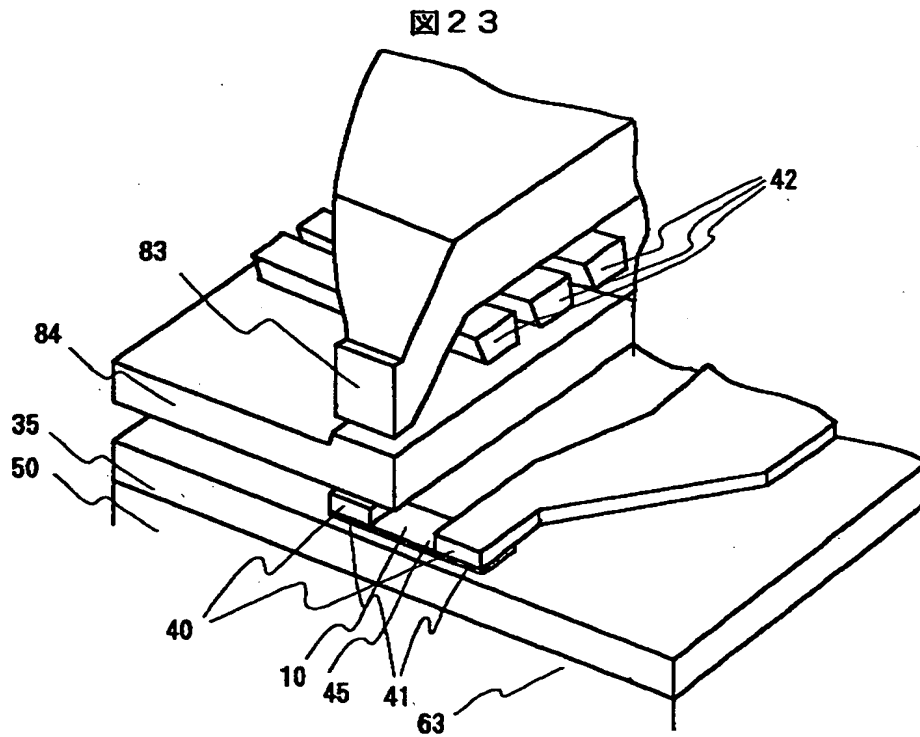
図21



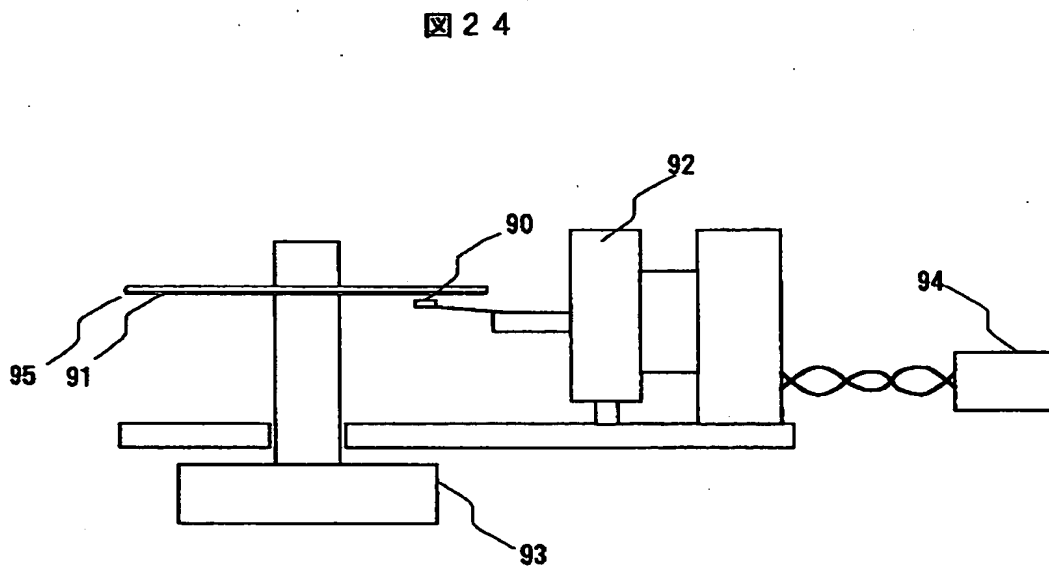
【図 22】



【図 23】



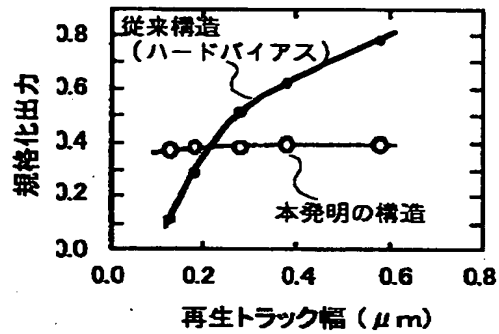
【図 24】





【図 25】

図 25



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 狭トラックでも再生出力の高い安定性の高いスピナルブ型磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 軟磁性自由層上に非磁性分離層を介して単磁区化強磁性層が形成され、前記軟磁性自由層と前記単磁区化強磁性層とがトラック幅端部で静磁氣的に結合して閉磁路を形成して前記軟磁性層が感知すべき磁界に対して略直交した方向に実質的に固定された磁化を有するスピナルブ型磁気抵抗効果素子を備えた磁気ヘッドとする。

【選択図】 図1

特2001-177925

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-177925
受付番号	50100849255
書類名	特許願
担当官	第八担当上席 0097
作成日	平成13年 6月14日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成13年 6月13日
-------	-------------

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所